BIBLIOTECA NAZ.
Vittorio Emanuele III
XXXIV
B
8
NAPOLI

B. ~~[illegible]~~
8

Digitized by Google

L'ART

DU

MAITRE DE FORGES.

LA BIBLIOTHÈQUE INDUSTRIELLE SE VEND:

A Bruxelles, chez BERTHOT, libraire.
Nantes, — MELLINET-MALASSIS, imprimeur-libraire.
Metz, — Veuve THIEL, libraire.
Rouen, — FRÈRE, libraire.
Milan, — BOCCA, libraire.
Turin, — BOCCA, libraire.
Marseille, — CAMOINS, libraire.

IMPRIMERIE DE GUIRAUDET,
RUE SAINT-HONORÉ, N° 315.

L'ART
DU
MAITRE DE FORGES,
OU
TRAITÉ THEORIQUE ET PRATIQUE
DE L'EXPLOITATION DU FER
ET DE SES APPLICATIONS
AUX DIFFÉRENTS AGENTS DE LA MÉCANIQUE
ET DES ARTS;

PAR M. PELOUZE,
EMPLOYÉ DANS LES FORGES ET FONDERIES.

Tome premier.

BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE III" NAPOLI

PARIS,
MALHER ET COMPAGNIE,
LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE ET INDUSTRIELLE,
PASSAGE DAUPHINE.
1827 — 1828.

LIBRARY

Digitized by Google

SOMMAIRE

DU PREMIER VOLUME.

AVANT-PROPOS.

Pages.

Statistique des usines à fer de la France, à l'époque des premiers jours de l'année 1826. 1

PREMIÈRE PARTIE.

EXAMEN THÉORIQUE ET PRATIQUE DES SUBSTANCES DONT ON OBTIENT LE FER.

TRAVAUX DU LABORATOIRE.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Origine de la production du fer. 1
— de l'acier. 9
CARACTÈRES DISTINCTIFS DU FER. 10
Propriétés physiques. 14
— chimiques. 17
De l'action du fer sur l'oxygène. 21
Des différences entre les fers. 23
DE LA FONTE OU FER CRU. 26
Tableau des poids employés pour rompre différents barreaux de fonte. 26
De la fonte blanche. 30
De la fonte grise. 33

Pages.

De la fonte truitée. 34
Tableau des analyses de plusieurs espèces de fonte. 36
DU FER DUCTILE OU MALLÉABLE. 38
Tableau d'analyses du fer. 39
Tableau de la résistance du fer comparée à celle de la fonte. 40
Du fer doux. 42
Du fer cassant à froid. 45
Du fer brisant à chaud. 46
Du fer aigre. 48
DE L'ACIER. 49
Tableau des analyses de plusieurs variétés d'acier. 52

DES MINERAIS DE FER.

DU FER OXIDULÉ OU MÉTALLOIDE. 56
Propriétés chimiques relatives aux essais de fer oxidulé par la voie humide. 57
Première variété du fer métalloïde. 57
Deuxième variété. 57
Troisième variété. 58
DES MINERAIS DE FER SPATHIQUE. 59
Du minerai oxidule de fer. 62
— oxides mêlés d'oxidules. 62
— oxides concrétionnés ou mamelonnés. 63
— oxide de fer compacte. 64
— oxide de fer terreux en fragments. 67
DE L'HABITAT DES MINERAIS DE FER. 69
1. Minerai de fer oxidulé. 69
2. Minerai de fer spathique. 70
3. Oxides de fer mêlés d'oxidules. 70
4. Fer oxidés, concrétionnés ou mamelonnés. 71

Pages.

5. Oxides compactes. 71
6. Fer argileux. 72
7. Oxides limoneux. 73
8. Oxidules terreux, en petits fragmens. 73

EXAMEN DES MINERAIS DE FER.

Détermination de leur nature et de leur degré de richesse, au moyen des essais
1° par la voie humide. 74
— 2° par la voie sèche. 77

DEUXIÈME PARTIE.

TRAVAUX D'EXPLOITATION.

OPÉRATIONS PRÉLIMINAIRES. 1
Triage. 2
Becardage. 3
Lavage. 7
Grillage. 10
— du degré de grillage que les minerais doivent subir, et des moyens que l'on emploie pour l'atteindre sans le dépasser. 19
DE LA FUSION DU MINERAI POUR EN OBTENIR LA FONTE OU FER CRU. 27
Des fourneaux de fusion ou hauts fourneaux. 28
— de leur forme extérieure. 29
De la capacité et de la forme intérieure des hauts fourneaux. 36
Comparaison des fourneaux sous le rapport de leurs différentes hauteurs. 54
Tableau de comparaison pour les consommations et produits des fourneaux. 56

Pages.

— *Autre tableau du même genre.* 60
Du nombre des tuyères et de l'influence de cette condition sur les quantités de combustible consommé. 63
De la richesse du minerai sous le rapport de la dépense en combustible. 64
Influence de la forme et des dimensions des hauts fourneaux. 64
Tableau des dimensions des différents creusets dans les hauts fourneaux. 79
Du mode de construction des hauts fourneaux. 80

DES COMBUSTIBLES.

Du bois. 98
Du charbon de bois. 100
De la tourbe. 112
— analyses de la tourbe. 114
De la houille. 118
— analyses de la houille. 123
Du charbon de houille ou *coke*. 124
Comparaison entre les charbons de bois et ceux de houille dans la fonte des minerais de fer. 125
DE LA COMBUSTION. 134
Des machines dont on fait usage pour la déterminer ou l'accélérer. 134
De l'action de l'air atmosphérique. 135
Tableau des quantités d'air employées par rapport au charbon brûlé et à la quantité de fonte obtenue. 144
Des machines soufflantes. 151
— des machines dans lesquelles l'air est introduit par le secours de l'eau. 152

Pages.

— Des machines dans lesquelles l'air est introduit par l'effet d'une diminution de la pression intérieure. 158
— Des régulateurs de la soufflerie. 166
Détermination de la quantité d'air produite par les diverses machines soufflantes. 172
DES DIVERSES ESPÈCES DE MACHINES SOUFFLANTES. 176
Des machines à colonne d'eau. 176
De l'usage des machines à vapeur pour faire agir les machines soufflantes. 178
Examen des avantages comparés et des inconvénients qu'offre chaque machine soufflante. 179

DES FONDANTS.

Des divers fondants propres à produire ou accélérer la fusion des minerais de fer. 187
— oxidules ou oxides de fer purs. 189
— oxides de fer terreux. 196
De la fusibilité des terres et des pierres qui qui accompagnent les minerais, et de celles qu'on y ajoute comme fondant. 198
Tableau de la fusibilité des diverses substances terreuses. 200
Tableau de la composition des substances qui forment le plus communément les gangues des minerais de fer. 204
Des expériences entreprises pour déterminer le degré de fusibilité des terres. 206
— des terres simples. 207
— combinaisons binaires. 208
— combinaisons ternaires. 208

Pages.

— combinaisons quaternaires. 209
Expériences faites sur la fusion des terres avec des oxides de fer imbibés d'huile. 214
— Essais avec l'oxidule pur. 214
— Essais avec les oxidules et les terres pures isolées. 214
— Essais avec les terres mélangées deux à deux. 215
— Essais avec les oxidules et les terres pures mélangées trois à trois, à parties égales. 216
— Essais avec les oxidules et les quatre terres réunies à parties égales. 217
Essais sur la fusion des terres mélangées avec l'oxidule de fer et de l'oxide de manganèse. 219
— Les terres mélangées une à une. 219
— Les terres mélangées deux à deux. 219

DE LA FUSION DES MINERAIS DE FER.

De la préparation du fourneau. 227
De la mise en feu. 235

FONDAGE.

Conduite du fourneau. — 1re période. 245
Conduite du fourneau. — 2e période. 250
Détails sur le travail des chargeurs. 250
Détails sur le travail des fondeurs ou des ouvriers qui se tiennent à la partie basse du fourneau. 253
PRINCIPES THÉORIQUES DE LA FUSION DANS LES HAUTS FOURNEAUX. 259
Tableau de la vitesse et du temps de

Pages.

descente des charges dans les différents hauts fourneaux. 266
Comment, à quels signes on peut reconnaître l'allure du fourneau, et quelles sont les corrections possibles quand il se dérange. 272
Des accidents qui peuvent survenir pendant le fondage. 283
De la suspension du travail par des causes étrangères à la marche du fourneau. 289
De la cessation définitive du fondage et de la mise hors. 292

DE L'EMPLOI DE LA FONTE EN FUSION.

FONTES MOULÉES. 296
Travaux généraux. 299
Des moules pour le coulage de la fonte. 300
— Moules découverts. 301
— Des moules en métal. 305
— Moules en terrre. 307
— Moules en sable. 314
DES DIVERSES QUALITÉS DES FONTES DE MOULAGE. 316
Du coulage des fontes. 328
De la refonte des gueuses et de l'emploi de cette matière au moulage. 331
Du travail et des habillages que doivent éprouver les fontes moulées. 340

FIN DU SOMMAIRE.

VOCABULAIRE

COMPLET

DE L'ART DES HAUTS FOURNEAUX,

DES FORGES

A LA FRANÇAISE ET A L'ANGLAISE

ET DES TRAVAUX ACCESSOIRES.

ABAT-JOUR, coupes verticales des marâtres d'un haut fourneau.

ACCIDENTS DE FONDAGE; ils peuvent être très nombreux.

ACÉRAIN, fer qui tient de la nature de l'acier.

ACÉRIR, souder de l'acier avec du fer destiné à trancher, etc.

ACIER, fer surcarboné.

— à bulles (Voyez *Acier cémenté*).

— brunck.

— brut (Voyez *Acier de forge*).

— cémenté (Voyez *Cémentation*).

— cémenté deux fois.

— d'Allemagne.

— de Cologne.

— de Damas (Voyez *Damas*).

— de forge, obtenu avec de la fonte.

— de forge, obtenu des minerais de fer.

— de France.

Acier de fusion.
— de Rives.
— de Solingen.
— de Styrie.
— de Vanaccio.
— des Pyrénées.
— du Nivernais.
— du pays de Foix.
— dur.
— en bottes.
— en fonte pâteuse.
— ferreux.
— forgé.
— fondu.
— fondu dur.
— fondu mou.
— naturel.
— poule.
— sauvage.
— soudable.
— suisse.
Aciération, l'action d'aciérer.
Acierie, fabrique d'acier.
Adoucir le fer fondu (*Art d'*), le rendre mou, facile à travailler.
Adoucissement de l'acier, le rendre plus mou.
Affinage, purification du fer pour en retirer les terres, l'oxygène et le carbone en excès.
Affinage.
— de la fonte à deux fusions.
— à la bergamasque.
— à la française.
— à l'allemande.
— à la wallonne.
— à trois fusions.
Affinerie, usine où l'on affine le fer.

Affineurs, ouvriers qui affinent le fer.
Agreyeur, ouvriers qui étirent le fil de fer à l'aide d'un levier ou de grosses tenailles.
Aide-fondeur.
Aiguiserie, usine pour rendre plus aigus les pointes ou les tranchants des objets en fer.
Aile (Voyez *Roue à aile*).
Aire, sol, place que l'on a unie.
— fond vertical du creuset, côté opposé au devant à la tympe.
— des enclumes, partie supérieure de l'enclume sur laquelle se place le fer que l'on forge.
— des fourneaux, massif uni ou sole des fourneaux.
— des fourneaux de réverbère, sole.
— des marteaux, surface plane qui frappe les corps soumis à l'action des marteaux.
Alèsement, l'action d'aléser des cylindres, des canons, etc.
Aléser, égaliser et unir les faces des cylindres ou des canons que l'on a percés.
Alésoir, instrument, espèce de foret pour aléser.
Allemandrie, usine dans laquelle on prépare le forgis pour les fileries de fil de fer.
Allure des fourneaux, leur manière d'aller.
Amas de minerai, tas de minerai dispersé à peu de profondeur.
Ame des soufflets, soupape qui se lève pour permettre l'entrée de l'air dans leur intérieur.
Ampoule de l'acier cémenté, petites bulles qui se forment à la surface.
Ancre, instrument qui accroche, qui retient; fer qui retient les massifs des hauts fourneaux.
Anneaux de fer, qui retiennent les massifs des hauts fourneaux.
Anthracite, espèce de houille sèche, très peu combustible.

Appuis de fourchette, bandes de fer qui supportent les fourchettes des équipages de fonderie.

Arbélage, lame de fer aplatie sous le marteau ou au laminoir, et destinée à la fabrication des tôles.

Arbre de bocard, grosse pièce de bois cylindrique qui soulève, en tournant, les pilons des bocards.

— des ordons, arbre cylindrique qui fait soulever les marteaux.

— des roues, arbre cylindrique que les roues font tourner.

Arbue, ou herbue, ou herbus, ou erbus, terre argileuse employée comme fondant des mines calcaires.

Arcane, combinaison métallique ajoutée au bain d'étain dans l'étamage.

Arceaux, petits arcs de pierre des fourneaux de cémentation.

Arénacé (*Minerai*), qui est sableux.

Argileuse (*Gangue*), argile mélangée avec le minerai.

Arsénical (*Fer*).

Aspiration des soufflets, action par laquelle l'air entre dans les soufflets.

Attaches des ordons, gros poteaux qui supportent l'ordon.

Attachement (*Affinage par attachement*).

Aube des roues, bout de planche ou de tôle attaché aux angles droits sur les biais ou les bracons des roues, et qui reçoit l'impulsion de l'eau qui les fait mouvoir.

Auge d'affinerie, petit bassin de bois plein d'eau, placé près des feux d'affinerie.

— des bocards, bassin de bois dans lequel on place les substances que l'on veut piler.

— des roues, bouts de planche sciés, sur le cercle

des roues hydrauliques, et qui forment de petits bassins propres à contenir l'eau qui y coule, afin de faire tourner les roues par l'effort de pesanteur qu'elle exerce.

Avaler, brasser la fonte, la ramener devant la tuyère.

Axe des fourneaux, ligne qui passe par leur milieu.

Bache des scories, auge en bois ou en fonte de fer remplie d'eau pour refroidir les scories.

Bacillaire, en baguette; oxide terreux argileux.

Bajoue des soufflets, parties des côtés des caisses supérieures qui se prolongent jusqu'à la tétière.

Balayures de fonderie.

Banc de forgeron, planche sur laquelle le forgeron s'assied pour forger au martinet.

— de tréfilerie, établi sur lequel on étire le fer avec de grosses tenailles.

Bandelette, fer martiné en bandes.

Banne de charbon, voiture à deux roues chargée de charbon.

Baquet a laver les minerais.

Baril de tôle, petit tonneau pour emballer la tôle.

Barres crénelées, pour contenir les marâtres des hauts fourneaux.

— pour lier le massif général.

Bascule des soufflets, espèce de levier.

Bas fourneaux, fourneaux dont la hauteur varie entre un et quatre pieds.

Base des cuves des hauts fourneaux, section horizontale faite dans le bas du vide des fourneaux.

Bassin a laver le minerai.

— d'affinage, foyer où la fonte est liquéfiée pour l'affinage.

Bataille, murs élevés autour de la plate-forme des hauts fourneaux.

Batteries, usines où on amincit le fer.

Battes de moulerie en sable, instrument de bois qui sert à comprimer le sable.

Battitures, oxide de fer qui tombe lorsqu'on martelle ou qu'on lamine le fer chaud.

Bec de soufflet, tuyau ou canon de fer qui transmet le vent dans le fourneau.

Bécasse, instrument en fer, à l'aide duquel on mesure la descente de la charge dans les hauts fourneaux.

Bêche à remuer le sable dans les fonderies.

Bergamasque (Voyez *Affinage*).

Bête, *cochon*, masse de fer qui se dépose dans les fourneaux.

Bidon de faux, petite barre de fer et d'acier que l'on soude pour former les maquettes des faux.

Bigorne, enclume à deux bouts et qui finit en pointe.

Billot d'enclume, grosse pièce de bois placée verticalement pour soutenir l'enclume.

Blettes, feuilles minces levées dessus la fonte, à mesure qu'elle se solidifie.

Bleuir, oxider le fer au bleu.

Blocs de pierre pour casser les minerais.

Bluettes, la même chose que battitures.

Blutoir, espèce de grand tamis pour le sable des fonderies.

Bobines, cylindres de bois sur lesquels on enroule le fil de fer ou d'acier, ou même des lames de métal.

Bocard, machine pour briser et pulvériser les minerais et les scories.

Bocardage, emploi du bocard.

Bocqueurs, ouvriers qui bocardent.

Boden, gâteau épais de fonte qu'on lève pour le travail de l'acier (mot allemand).

Bogue (Voyez *Hurasse*).

Bonde de bocard, morceau de bois qui sert à boucher l'ouverture par laquelle le minerai sort.

Bottelage du fer martiné.

Bouchage, matière pour boucher la coulée.

Bouche de fourneau.

— de soufflets, extrémité de la buse.

— de la tuyère, par où l'air sort.

Bouquer le feu, le soigner.

Bouillonnement des scories.

— de la fonte dans les fourneaux à puddler.

Boulon des soufflets, axe sur lequel le volant oscille.

Bourbeuses (*Mines*).

Bras-boutant, pièces de bois inclinées qui soutiennent les attaches des ordons.

Bras des roues, pièces assemblées au centre de l'arbre, et qui supportent l'anneau de la roue.

Brasque, poussier de charbon, ou mélange de poussier et de terre argileuse.

Brassage, travail de la fonte avec des ringards.

Bride de champ, lien de fer posé de champ, qui retient deux des montants d'un équipage de laminoirs.

Bride plate, lien de fer placé au-dessous des brides de champ.

Briques des creusets, employées aux caisses pour la cémentation de l'acier.

— de laitier pour la construction des hauts fourneaux.

Brosse, instrument de moulerie.

Brouette à charger le minerai et le charbon.

Bruissement, bruit qui se fait entendre dans le haut fourneau pendant le fondage.

Bucre, établi à tirer le gros fil de fer dans les tréfileries.

Bure des hauts fourneaux, espace au-dessous du gueulard, où l'on verse la charge.

Buse des soufflets, tube pour la sortie de l'air.

Cadmie, incrustation produite par le métal qui s'évapore et s'attache aux parois des fourneaux.

Cadres de bois placés autour des hauts fourneaux pour retenir l'écartement du maraillement.

Caqueux, petit cylindre de bois à comprimer le sable des moules.

Cailloux, pierre dure et siliceuse, employée comme fondant.

Caisse.

— à air (Voyez *Soufflets*).

— à eau (Voyez *Soufflet hydraulique*).

— de bocard, auge de bois dans laquelle on pile ou bocarde.

— de cémentation, caisses de pierre ou de terre dans lesquelles on cémente le fer pour le convertir en acier.

— de soufflets, dans lesquelles on aspire l'air pour le renvoyer ensuite dans les fourneaux.

— des trompes, dans lesquelles l'air se sépare de l'eau.

Calcination des minerais (Voyez *Grillage*).

Calibre employé pour la construction des cuves circulaires des hauts fourneaux.

— pour les moules de fonderie.

Calotte de forge, masse de fer déposée au fond des creusets des hauts fourneaux.

Cammes, espèce d'alluchon adhérant à un cylindre, et qui tourne avec lui.

Cames des soufflets.
— de bocard. Leur courbe est une développée du cercle.
— de marteaux. Leur courbure est épicycloïde.
— de bûches de tréfilerie. Elles font mouvoir les leviers qui tirent et poussent les tenailles.
Canal hydraulique, espace long dans lequel l'eau coule.
Canard (*Queue de*), déchirure d'un fil de fer en sortant de la filière.
Canaux d'aérage, formés dans le double muraillement des hauts fourneaux.
— d'évaporation, pratiqués dans les fondations des hauts fourneaux.
— de refroidissement, dans lesquels on fait arriver de l'eau pour refroidir la plaque de fond du creuset des bas fourneaux.
Capacité des fourneaux.
Carbonisation du bois, conversion en charbon végétal.
— de la houille, conversion en charbon minéral ou *coke*.
Carbure de fer ou graphite, combinaison de charbon au maximum et de fer au minimum.
Carburé (*Fer*), fonte. — Surcarburé.
Carcas, carcasse de fonte en partie affinée restée sur l'autel des fourneaux de réverbère.
Carillon (*Fer*), de 4 à 8 lignes en carré.
Carillonerie, petite forge pour fabriquer du carillon.
Cassage des minerais.
Casse, poterie de fer battu.
Casserie, usine où l'on fabrique des casses.
Cassier, fabriquant de casses.
Cassure du fer.

Castine, pierre calcaire employée comme fondant des minerais argileux.

Castiner le fer, mettre de la chaux avec le charbon dans les fourneaux d'affinerie, pour améliorer le fer.

Catalane (Voyez *affinage à la catalane*).

Catin, bas fourneaux à creusets.

Caton, petit fer préparé à la main pour les tréfileries.

Cave servant de régulateur des machines soufflantes.

Cément, matière charbonneuse employée pour cémenter le fer et le convertir en acier.

Cementation, l'action de cémenter.

— rétrograde, dans de la poudre d'os.

Chabotte, masse de fonte dans laquelle on fixe les enclumes.

Chainon, bride ou anneau qui embrasse la queue des tenailles et les serre.

Chambre de l'enclume, ouverture carrée formée dans le *stock* pour recevoir l'enclume.

Chambrière, espèce de fourchette de fer pour supporter les barres lorsqu'on les réchauffe.

Chape (*Moulerie*), manteau, couvercle du vide du moule.

— de pompe, son chapeau.

Chape de soufflet.

Chapelle de fourneau, partie antérieure au-dessus des creusets, comprise entre la tympe et le gueulard.

Charbonnaille, menu charbon.

Charbonnière, bâtiment dans lequel on conserve le charbon.

Charbon fossile (Voyez *Houille*).

Charge, quantité de charbon et de minerai jetée à la fois par le gueulard.

Chargeurs, ouvriers qui chargent les hauts fourneaux.

Chargement des fourneaux de réverbère.

Charrue, espèce de pioche avec laquelle on creuse le moule de la gueuse.

Chassis de moulerie, caisse qui contient le sable des moules.

Chaude, chauffe donnée au fer.

— suante, chaude qui rend le fer mou étincelant, avec un aspect de cire fondue.

Chauffage des hauts fourneaux.

Chauffe, chaleur donnée au fer.

Chauffer a blanc, donner au fer une chaude suante.

— au rouge, donner une couleur rouge au fer en le chauffant.

Chaufferie, fourneau ou foyer à chauffer le fer.

Chauffeurs, ouvriers qui chauffent le fer.

Chauffure, mauvaise qualité que le fer ou l'acier acquièrent par la chauffe.

Chemin pour arriver à la plate-forme des hauts fourneaux.

Cheminée extérieure des hauts fourneaux, cheminée qui recouvre la plate-forme et le gueulard.

— intérieure (Voyez *Cuves*).

— intérieure-inférieure, réunion du creuset, de l'*ouvrage* et des étalages.

— intérieure-supérieure, portion de la cuve au-dessus des étalages.

Chemise des moules, matière qui occupe la place du vide que la fonte doit remplir.

— des fourneaux, parois intérieures des cuves.

Chevalet des soufflets, c'est un châssis assemblé d'un bout sur une semelle, et fixé de l'autre à la

table du gîte des soufflets. Il sert à les élever à la hauteur convenable.

Chiffes, morceaux de torchon que les agreyeurs tiennent à la main pour tirer le fil de fer dans les fileries.

Chio, plaque de fonte percée d'une ouverture pour faire couler la fonte et les scories. On donne aussi le nom de chio à cette ouverture.

Chouquet, billot pour rabattre les filières.

Cignole, manivelle contournée en S pour faciliter le mouvement des soufflets.

Cinglard, marteau du poids de trois à quatre cents, qui sert à cingler les loupes d'affinerie.

Cingler, marteler la loupe pour en former une pièce dense.

Cisailler, couper le fer avec des cisailles.

Cisailles, grands ciseaux à couper le fer.

Ciseau, instrument à couper le fer.

— à chaud.

— à froid.

Claie pour passer les minerais.

— placée dans les fondations (Voyez *Ordon*).

Clapet, soupapes des soufflets.

Cloches, espèces de soufflets hydrauliques.

Cochon, masse de fonte qui s'amasse dans l'intérieur d'un fourneau et l'engorge.

Cograins, petits morceaux de fer qui s'attachent intimement aux trous de la filière, et qui pourraient gâter le fil.

Collets, extrémité des axes des cylindres, plus gros que les tourillons.

Colonne d'eau (*Machine à*) (Voyez *Machine à colonne d'eau*).

Conches, vaisseau de bois ou de métal pour mesurer le minerai.

Conduire le nez, juger de l'allure du fourneau par les scories qui s'accumulent sur la tuyère.
Conduit d'air des moules.
— des fourneaux de réverbère.
Conduits d'eau.
— d'air.
Conduite du fourneau, disposition, proportion des charges; détermination de la vitesse de soufflerie, etc.
Conges (Voyez *Conches*).
Contre-emboise, pièce de bois ou de fonte qui sépare les tourillons des cylindres ou des axes des découpoirs dans un équipage de fenderie.
Contre-vent, face des creusets opposée au vent.
Contre-parois, face externe des parois du côté du double muraillement.
Coquille, moule en fonte pour couler des boulets.
Corbeille, pour mesurer le charbon.
Cordeau, pour tracer les vides des cuves quadrangulaires des hauts fourneaux.
Correction, apportée dans de certains cas dans le travail des hauts fourneaux.
— des fers vicieux.
Corps de l'acier, propriété particulière de l'acier.
Corboyer le fer, le pétrir sous le marteau ou sous le laminoir.
Costières, pierres qui forment les parois du creuset des hauts fourneaux.
— du contre-vent, pierre du creuset formant la face du contre-vent.
— de la tuyère, pierre du creuset du côté de la tuyère.
— de la rustine, pierre du creuset du côté de la rustine.
Coftières, barres de fer auxquelles on donne plus

de largeur qu'aux autres barres ou verges de fer qu'on fait passer sous le martinet.

Coulage, espace pratiqué devant un fourneau pour couler les différentes pièces.

Coulée de la fonte des hauts fourneaux, l'opération de vider le creuset.

Coulière, fer aplati en verge carrée de 4 lignes d'épaisseur sur 44 lignes de largeur.

Courbotte, balancier en bois ou en fer auquel on attache les crochets ou chaînes des soufflets de forges.

Court bandage, forme de fer marchand.

Court carreau, gros poteau de bois soutenant rabat marteau dans les ordons à drome.

Courtine (Voyez *Bure*).

Couteau de la masselotte, pour couper les fortes masselottes, telles que celles des canons.

— à mouler, pour couper le sable de moulerie.

Coursier, canal étroit par lequel l'eau arrive sur les roues hydrauliques.

Craches, rejet de matière par le devant de la tuyère.

Cran, défaut de fabrication d'un fer mal forgé.

Crasse (Voyez *Laitier* et *Scories*).

Creusets, vases de terre employés pour la fusion.

— d'affinage, foyer de fourneau à affiner.

— d'étamage, vase de fonte pour liquéfier l'étain.

— des hauts fourneaux, espace dans lequel la fonte et les scories se réunissent.

Crevasses des hauts fourneaux.

Crible pour passer les minerais.

— à l'eau, pour laver les minerais.

Cric (*Tôle à*).

Crissures, espèces de rides ou de crispures qui se font à la superficie du fil de fer, lorsque la filière est mal ajustée.

Croard, crochet de fer pour agiter la fonte en bains.

Crochets pour le travail des hauts fourneaux et des affineries.

— aux scories, avec lequel on tire les scories.

— pour soutenir la loupe.

Croisée, pièce d'ordon.

Crosse, barre de fer que l'on soude aux masses de fer que l'on veut chauffer et forger, pour pouvoir les manœuvrer commodément.

Crot (*Mettre le fer au*), grillage du fer mazé.

Cuillères pour puiser le métal.

— pour former les moules en sable.

Culart, morceau de bois de sept à huit pouces d'équarrissage qui porte la queue du ressort dans les ordons à drome.

Culot, petite masse de fonte qui se réunit au fond des creusets d'essai.

Culeton des soufflets, la partie la plus large du gîte, opposée à la têtière.

Curette.

Cuve.

— des hauts fourneaux, vide intérieur.

— des trompes, caisses dans lesquelles l'air et l'eau tombent : l'air se sépare de l'eau.

Cuvier de trempe pour l'acier.

Cylindres.

— à comprimer, machine composée de deux cylindres à rainures pour comprimer le fer.

— à ébaucher, portant les rainures pour la première compression.

— à étirer, portant d'autres rainures : ici le fer s'allonge.

— finisseurs, dernières rainures.

— de tréfilerie, employés à étirer le fil de fer qui doit passer dans les trous de la filière.

Cylindres préparatoires (Voyez *Ébauchoirs*).

— à vapeur, grand cylindre creux dans lequel le piston des machines à feu est mis en mouvement par l'action de la vapeur.

Dalles, gouttières de fer qui supportent les forgis à mesure qu'ils s'étendent sous le martinet.

Damas (*Acier de*).

Dame, digue en maçonnerie formée au-dessous de la tympe pour retenir la fonte dans le creuset.

Davier, anneau de fer qui sert à arrêter le bout du fer que l'on veut passer par la filière.

Décapage, séparation de l'oxide qui recouvre les feuilles de tôle.

Décaper.

Déchet de la fonte dans l'affinage.

Déclinaison de la tuyère, direction qui fait un angle avec la perpendiculaire à la face du vent du fourneau.

Découpoir, machine pour emporter les pièces ou creuser des vides pour figurer un objet.

Déflagration, inflammation étincelante du métal.

Dents de roues, parties saillantes placées sur la circonférence des roues pour recevoir ou communiquer le mouvement.

Dentées (*Roues*).

Dépense de fonderie, frais nécessaires pour le traitement du minerai.

Descente des charges de minerai et de charbon dans les hauts fourneaux, transport du gueulard au creuset.

Dessiccation des moules de fonderie.

Devant des affineries, côté par lequel coulent la fonte, les scories.

— des hauts fourneaux, côté de la percée et de la coulée de la fonte et des scories.

Diaphragme des soufflets, parois, cloisons qui séparent l'intérieur des soufflets en plusieurs parties.

Docimasie, essai des minerais par la voie humide.

Double murailleme nt, les deux murs extérieur et intérieur qui environnent le massif du fourneau.

Doublon, morceau de fer plié en deux, destiné à former deux feuilles de tôle.

Dragée de fer, fer granulé à l'eau ou sur le sable.

Dressage du fer, opération que subit la barre après avoir été étirée sur le travers de l'enclume, ou au sortir de la dernière étiration des laminoirs dans les forges à l'anglaise.

Droite des fourneaux, la face à droite du spectateur qui les regarde par devant.

Drome, longue pièce de bois fixée dans la partie supérieure des équipages d'un ordon à drome.

Ebauchage des loupes aux cylindres, première opération dans les forges à l'anglaise.

Ebroudis, travail de la troisième bûche des tréfileries.

Ecossaise, instrument de fer pour fourgonner.

Ecotage, fil de fer travaillé dans la seconde bûche des tréfileries.

Ecoteur, ouvrier attaché à la première bûche des tréfileries.

Ecouvillonner le feu, mouiller le charbon extérieur pour empêcher la flamme de se porter en dehors.

Ecran des forgerons, plaque de fer que les forgerons suspendent devant le foyer de leur forge.

Ecraser les soufflets, les comprimer pour pousser l'air dans le foyer.

Ecrier, nettoyer le fil de fer oxidé par la chauffe.

Egrainer, se casser par grain. Tel est l'acier trempé trop dur.

Egrappoir, machine à échelon de fer pour nettoyer le minerai.

Eisenrahm, mot emprunté de l'allemand, signifiant minerai de fer d'une certaine espèce.

Emboutir (Voyez *Amboutir*).

Embrasure, vide pratiqué dans le bas du massif d'un fourneau pour y placer les machines soufflantes, ou approcher du creuset, etc.

— des soufflets, pour les machines soufflantes.

— du devant, pour l'écoulement des scories et de la fonte.

Empoese ou empoise, support des axes des cylindres et des taillants des espatards dans les fonderies.

Empoule, soufflure formée sur la surface du fer cémenté.

Encastrure des ordons, encaissement des ordons.

Enclume, masse de fer sur laquelle on cingle et on forge.

Enclumier, ouvrier qui forge, acère et raccommode les enclumes.

Encorbellement, saillies portant à faux au-delà d'un mur. Demi-voûtes qui remplacent les marâtres des fourneaux, portées sur des gueuses.

Encrénée, pièce de fer cinglée et forgée par le milieu.

Engrenage, disposition de plusieurs roues dont les dents s'insèrent les unes dans les autres, en sorte que l'une fait tourner l'autre.

Engorgement du creuset.

Enseigne (*Tôle à*), tôle mince.

Entonnoir de trompe, ouverture conique de la partie supérieure des tuyaux de trompe.

Eprouvettes, barres de fer placées dans le four-

neau de cémentation pour juger l'acération.

Equarrissage du fer (Voyez *Forgeage*).

— des tôles, les rogner avec des cisailles.

Equipage de fonderie, réunion de toutes les pièces qui composent la machine.

Escarbilles, menu charbon de houille qui passe à travers les grilles des chaufferies.

Escola, valet de forge, employé à de gros ouvrages dans les forges des Pyrénées.

Espatar ou espatard, équipage de cylindres pour aplatir le fer.

Essais des minerais.

— par la voie humide, docimastiquement.

— par la voie sèche, par la fusion, avec ou sans flux.

Estibois, estibot ou étibot, billot sur lequel on lime les pointes des fils de fer.

Estoquart, morceau de bois avec lequel on arrange les charbons dans le gueulard avant de charger les minerais.

Estranglion (Voyez *Etranglion*).

Etalages, partie supérieure de l'ouvrage qui compose le grand foyer.

Etampes, matrices pour étamper les reliefs.

Etirage du fer, allongement des barres par la compression, soit du marteau ou des cylindres.

Etoffe, barre formée de plusieurs aciers reforgés ensemble.

— de pont, acier reforgé.

Etoupe, filasse employée dans le moulage en terre.

Etranglion des trompes, partie étroite de l'entonnoir.

Etuve, espace échauffé pour sécher artificiellement les objets qu'on y place.

Etrille (*Tôle à*), tôle demi-forte.

Events, canaux pratiqués dans la partie supérieure des moules pour faciliter la sortie de l'air, des gaz et de l'humidité.

Expiration des soufflets, leur mouvement pour faire sortir l'air qu'ils contiennent.

Exploiter, faire valoir une mine, en extraire les substances qu'elle renferme.

Faces des fourneaux.

Faix (*Donner trop de*), c'est passer le fer par une cannelure de cylindres forgeurs ou un trou de filière trop étroit.

Fanton, espèce de fer aplati en verges d'environ 10 lignes d'épaisseur et 50 de largeur.

Fassin (Voyez *Fraisil*).

Fat, mesure pour charger le minerai.

Fausses parois, parties des parois en dehors du fourneau.

Faux, instrument d'agriculture.

Faux taillants, petites rondelles qui séparent celles des taillants dans un équipage de fenderie.

Fazin (Voyez *Fraisil*).

Fenderie, usine et machine à refendre le fer.

Fendilles du fer, ouvertures dans le sens de la longueur des barres, qui se forment en les forgeant.

Fenton (Voyez *Fanton*).

Fentes de l'acier, ouvertures plus ou moins grandes qui se forment lorsqu'on le trempe.

Ferrailles, vieux fers.

Fer,

— à grains.

— à grains moyens.

— aigre.

— affiné.

— à lames.

Fer brisant à chaud.
— cassant à froid.
— cassant et brisant.
— cru (Voyez *Fonte*).
— doux.
— ductile.
— dur.
— fibreux.
— frisé.
— granulé.
— marchand.
— maréchal.
— martiné.
— mazé.
— mélangé.
— nerveux.
— rouverain.

Férarier, espèce de bas fourneau des environs de Rome.

Ferrements, outils ou instruments en fer employés dans les hauts fourneaux.

Ferronnerie, usine à travailler le fer.

Ferronnier, qui travaille et vend du fer.

Feu de tôlerie, feu ou foyer dans lequel on chauffe le fer pour les tôles, ou les tôles elles-mêmes.

Feuillard, espèce de fer aplati en verges d'environ douze lignes d'épaisseur et trente-six lignes de largeur.

Feuilles de fonte.

Fibre, filament que présente la cassure du fer.

Fibreux, fer qui présente des filaments dans sa cassure.

Fil de fer.

Filer le fer, c'est l'obliger de passer dans des trous dont il prend la forme et la grosseur.

Fileries, usines où l'on fabrique le fil de fer.

Filières, instruments percés de trous, à travers lesquels passent les fils métalliques pour les allonger.

Filon, fente contenant du minerai.

Fine-metal, mot emprunté aux Anglais (les Allemands disent *feines metall*); fonte surcarburée refondue dans un bas fourneau.

Finerie, fourneau pour fondre le *fine-metal*.

Flameron (Voyez *Fumeron*).

Fléau des soufflets, tringle de bois qui a un mouvement d'oscillation.

Floss-dur, fonte carburée.

Fluss-offen, fourneau à fondre le minerai en Styrie.

Flux, substances employées pour faciliter la fusion des minerais et de leur gangue.

— blanc.

— cru.

— noir.

Fondage, traitement des minerais dans un haut fourneau.

Fondants, substances ordinairement terreuses, employées pour faciliter la fusion.

Fond d'affinerie, grosse plaque de fonte de fer qui forme le fond des foyers d'affinerie.

Fondations des fourneaux.

Fondeur, — Maître, — Aide (Voyez *Maître Fondeur*, *Aide-Fondeur*).

— à la poche, ouvrier ambulant qui refond des vieilles fontes.

Fonderie, usine pour refondre le fer cru.

Fonte, fer fondu, impur.

— blanche.

— blanche argentine.

— blanche matte.

— blanche truitée.

Fonte blanche vive.
— brute.
— carburée.
— d'acier.
— dure.
— en grains.
— grise.
— — claire.
— — noire.
— — truitée.
— manganésifère.
— truitée.
— — blanche.
— — également.
— — grise.
— surcarburée.
— réduite en *fine-metal*.
— tendre.
Foret, instrument de fer pour percer des trous.
Forge.
— pour essayer les minerais de fer.
— pour travailler le fer.
— à l'anglaise, ou cylindres forgeurs.
Forgeage, martelage ou compression du fer.
Forger.
Forgerons, ouvriers qui forgent le fer.
Forgeurs (Voyez *Forgerons*).
Forgis, tringle de fer étirée pour les tréfileries.
Fausse, trou creusé près des fourneaux pour y placer les moules.
Fourches d'affinerie, fixées sur le bord des fourneaux pour décrasser les ringards.
Fourchettes, bandes de fer servant à empêcher le fer fondu de s'enrouler autour des rondelles, des taillants de découpoirs.

Fourgon, instrument servant à pousser les charbons sur les chaufferies.

Fourgonner, remuer le charbon embrasé.

Fourneau, massif qui contient un vide dans lequel on brûle du combustible.

— à affiner le fer.
— à chauffer l'acier.
— à fondre l'acier.
— à fondre le minerai.
— à griller les blettes.
— à manche.
— à masse (Voyez *Stuck-offen*).
— à poche, petit fourneau des fondeurs ambulants.
— à platiner (Voyez *Fourneaux de tôlerie*).
— à recuire le fil de fer.
— à rougir les bandes.
— à tremper au paquet.
— à vent.
— bleus, moyens fourneaux dont la cuve est formée de deux pyramides opposées base à base.
— corse.
— catalan.
— de cémentation pour convertir le fer en acier.
— de fonderie (Voyez *Fourneau de fusion*).
— de forge (Voyez *Fourneau à affiner le fer*).
— de fusion (Voyez *Fluss-offen*).
— de grillage, dans lesquels on grille les minerais.
— de réverbère, dans lequel la flamme circule librement et se réfléchit sur les parois.
— d'essais.
— de tôlerie.
— hauts (Voyez *Hauts fourneaux*).
— moyens.

Foyer, espace dans lequel le combustible brûle.

Fraisil, poussière de charbon employée dans le grillage des minerais, etc.

Frayeux, pièce de fonte qui sert de point d'appui aux ringards, lorsque les ouvriers les emploient comme leviers.

Frette, lien de fer soudé que l'on fait entrer dans le bout des arbres des roues et des stocks.

Frimen-stahl, nom donné en Styrie à une variété d'acier.

Frisé (*Fer*), c'est un fil de fer dont la superficie est inégale.

Frittes de forge (Voyez *Scories*).

Fromage, petit cylindre de terre réfractaire, pour supporter les creusets dans les fourneaux d'essai.

Fumer un fourneau, brûler du bois dans son intérieur pour le sécher.

Fumeron, charbon de bois qui n'est pas assez fait.

Gambier, espèce de crochet de fer pour recevoir le fer refendu, lorsqu'il sort des rondelles des fenderies.

Gangues, substances qui accompagnent le minerai dans les filons.

Gardes-feu, ouvriers qui travaillent dans les embrasures des fourneaux.

— plaque posée le long de la dame pour empêcher le laitier de se porter sur le fraisil.

Garde-fourneau (Voyez *Aide-fondeur*).

Gateau de fonte, morceau de fonte percé de beaucoup de trous, levé, pour faire de l'acier, dans le Tyrol.

— de casserie, réunion de plusieurs platines qui doivent être travaillées ensemble.

Gentilshommes, pièces de fonte posées sur la dame, et le long desquels les laitiers s'écoulent.

Gerçures du fer, le rendent impropre à la cémentation.

Gisement des minerais, espace dans lequel ils se trouvent.

Gite (Voyez *Gisement*).

Gite des soufflets, caisse qui reste fixe.

Gosier, partie du soufflet par laquelle le vent passe de la caisse à la buse.

Goujat, garçon de forge chargé d'entretenir le charbon sur le foyer et de l'arroser d'eau.

Gouttes de fonte, qui tombent dans le creuset des hauts fourneaux.

Grains (*Fer à*), fer qui contient des grains durs, difficile à limer.

— des fontes, restés dans les laitiers de hallage.

Grainure, grains de la cassure des fers et fontes.

Grand foyer, partie du haut fourneau comprise entre le ventre et le creuset.

Grande masse des hauts fourneaux, partie supérieure de la cuve.

Graphite, combinaison de fer et de carbone (Voyez *Plombagine*).

Greillade, poussière de minerai grillé.

Griffe ou Grille, crochets de fer suspendus au crochet d'une romaine pour supporter les barres de fer et les gueuses de fonte.

Grillage, action du feu sur les minerais, pour vaporiser l'eau et d'autres substances.

— des blettes, préparation qu'elles subissent avant d'être affinées.

Grillage en bois, pièces ajustées en forme de grille pour les fondations des hauts fourneaux.

Grilles (*Faire les*), disposer des ringards au-dessus du creuset, pour retenir la charge avant que le premier minerai ne soit descendu.

— de bocard.

Grilleur, ouvrier qui grille les minerais.

Grillot, enfoncements multipliés et grenus que l'on aperçoit à la surface des fers aigres qui n'ont pas été bien chauffés.

Grue, machine pour soulever les fardeaux.

Grumillons, groupes de cristaux qui s'échappent des maquettes qui ont été trop chauffées, lorsqu'on les forge.

Gueulard, ouverture supérieure des hauts fourneaux.

Gueule des fourneaux de réverbère.

Gueusat, petite gueuse.

Gueuse, masse de fonte en prisme triangulaire.

Guhr, substance visqueuse, terreuse et métallique.

Guise, petite plaque de fonte dans laquelle on moule de la fonte dans les aciéries d'Allemagne.

Hache, instrument tranchant qui a un manche, pour couper les stucks.

Hacheron, petite hache.

Haire des forges, plaque de fonte de fer qui fait partie de celles qui composent les creusets des foyers de forges.

Halde, monceau de déblais retirés des mines.

Haller les laitiers, les sortir du creuset, les tirer avec un crochet.

Hammer-schlag, ou hamecelagh (Voyez *Battitures*). C'est aussi le laitier qui se détache du ringard avec lequel on pique la fonte dans les affineries.

Hanche de chaudière ou de marmite, partie arrondie par laquelle le fond se lie avec le tout.

Hape de chaînon, maillon de chaînon.

Hart-floss, fonte dure, aciéreuse.

Hauts fourneaux, fourneaux qui excèdent douze pieds en hauteur.

Herbue, terre alumineuse employée comme fondant avec les mines calcaires.

Hollische (*Machine*) (Voyez *Machine à colonne d'eau*).

Hordel (Voyez *Ordon*).

Hornian, grosse masse de fonte impure qui se dépose au fond des fourneaux mal construits, ou qui se durcit lorsqu'ils se refroidissent et s'engorgent.

Hors (Voyez *Mettre hors*).

Houille, charbon minéral.

— bacillaire, en baguette.

— compacte.

— feuilletée.

— grasse.

— maigre.

— sèche.

— schisteuse.

Huche de bocard, auge, cuve demi-circulaire qui reçoit le minerai au sortir des bocards.

Hurasse, anneaux de fer sur lesquels sont les pivots d'oscillation des manches de marteaux.

Hus (Voyez *Hurasse*).

Incinération, action de réduire en cendres.

Jambe d'ordon, pièce de bois qui supporte les boîtes de fer dans lesquelles sont placés les tourillons des hurasses.

— obliques, pièces de bois qui soutiennent les pilliers principaux des ordons à drome.

Japonais (*Affinage*), pour obtenir de l'acier.

Jauge, compas d'épaisseur, ou morceau de fer plié en zig-zag pour mesurer la grosseur des fils de fer.

Jet d'air des soufflets.
— de fonte, métal qui remplit le canal par lequel on introduit la fonte dans le moule.
Joyères, murs qui terminent le bas d'une usine du côté de l'épaulement.
Jumelles de bocard, pièces de charpente qui s'élèvent perpendiculairement, et qui sont séparées par un intervalle entre deux lignes parallèles.

Kalbrecht, fer cassant.
Kernstahl, acier mou, acier commun.
Kocq, mesure pour charger le charbon.
Korb, mesure pour charger le charbon.

Lachefer, ringard pointu avec lequel on perce le bouchage du fourneau.
Laiterol, le devant des creusets d'affinerie.
Laitiers, verres terreux qui se forment dans les hauts fourneaux.
Laminage, compression et extension sous l'effort de cylindres.
Laminoir, réunion de deux cylindres pour comprimer et étendre.
Languette, fer aplati et doublé pour la fabrication de la tôle.
Lanterne, roue d'engrenage avec des fuseaux.
— (*Soufflets à*), formés de deux plans circulaires réunis par des cuirs et séparés par des cercles de bois.
Lavage des minerais.
Laverie a gradins, disposition de plusieurs cribles placés les uns au-dessous des autres.
Laves des fourneaux (Voyez *Laitiers*).
Laveur, ouvrier qui lave les minerais.
Lavoir, endroit où on lave les minerais.

Liens de fer, qui retiennent le massif des hauts fourneaux.

Limaille de fourneau, graphite qui recouvre la fonte grise lorsqu'elle se refroidit.

Lit de la gueuse.

Liteaux, tringles ou pièces de bois horizontales qui en retiennent d'autres.

Lopin, petite loupe.

Longrines de fonte de fer, gueuses ou barres de fonte dont on se sert pour soutenir les marâtres des fourneaux.

Lotir le minerai, en prendre des portions dans différentes parties du tas pour avoir une qualité moyenne.

Loup de fourneau, masse de fonte qui s'y rassemble et s'y durcit.

Loupe, masse de fonte affinée qui se coagule dans les fourneaux d'affinerie.

Lune, on désigne ainsi la couleur que doit avoir le feu du fourneau de fonte.

Lunettes de soufflets, doubles ventaux avec leurs ventillons.

Macération, fonte restée en bain liquide pendant quelque temps.

Macérer, liquéfier la fonte, et la tenir en bain pour la purifier par le repos.

Machines.

— à colonne d'eau, machine mise en mouvement par une colonne d'eau qui tombe d'une très grande hauteur.

— à comprimer, marteaux, laminoirs.

— à mouvoir les cisailles, les tenailles et bobines, etc., dans une tréfilerie.

— à roue hydraulique.

Machines à vapeur, qui est mise en mouvement par la force d'expansion de l'eau en vapeur.
Machines à double effet.
— soufflantes.
— — à parois flexibles.
— — à parois inflexibles.
— — hydrauliques.
— hydrauliques.
Manche (*Fourneau à*).
— de marteau.
Manchon de fonte (*Ordon à*) (Voyez *Ordon à manchon*).
Manganésée ou manganésifère (*Fonte*), qui contient du manganèse.
Maillon, anneau de fer surmonté d'une tige, qui sert à mouvoir les tenailles de tréfilerie.
Maître-forgeron.
— fondeur.
— mouleur.
Maladie des fourneaux, dérangement dans le travail.
Manicordon ou manicordion, fil de fer très fin.
Manigaux, bascule de soufflets.
Manivelle, bras de levier destiné à mettre en mouvement une machine de rotation.
— d'une machine hydraulique, bras de levier attaché à l'axe de la roue et qui tourne avec elle.
Manteau, terre qui recouvre les modèles en terre.
Mantonnet de bocard, pièces de bois fixées sur les poteaux des pilons, et qui soulèvent les cammes.
Manture, fil de fer qui a été chauffé inégalement et qui a brûlé en quelques endroits.
Maquette, barre de fer forgée par le milieu et par un bout.

MARATRES, pièces de fonte qui forment le plafond des embrasures.

MARCHANDES (*Fontes*), toutes celles qui ne doivent pas être converties en fer.

MARCHANDISE (*Fonte en*), fonte d'objets moulés qui se livrent en gros aux marchands, tels que marmites, etc.

MARCHER LA TERRE, la pétrir avec les pieds.

MARCHOIR, place disposée pour marcher la terre.

MARÉCHAL (*Fer*), bonne qualité de fer marchand.

MARSCHAL (*Acier*).

MARTEAU pour les essais.

— à chapeler, pour dégrossir et unir les pannes.

— à cingler, avec lequel on comprime la loupe pour en former des pièces.

— à cuveler, pour marteler l'intérieur des casses.

— à étirer, pour étirer les barres.

— à ébaucher la tôle.

— à parer.

— à platiner, à étendre les feuilles de tôle.

— à amboutir, à courber les platines.

— à panne droite, dont la partie inférieure est droite et plane.

— à planer, à dresser les feuilles de fer.

— à faire les semelles, pour forger les semelles des tôles.

MARTELEUR, ouvrier qui entretient les harnais des soufflets, l'ordon du marteau, les outils de son feu, etc.

MARTINET, marteau; se dit aussi d'une usine où on martine le fer.

— à bras, que des hommes font mouvoir par le moyen d'une manivelle.

MARTINER, forger le fer sous des martinets.

MARTINEUR, qui forge le fer sous des martinets.

Masse de fer, pour casser le minerai dessus; instrument pour arranger les charbons dans le gueulard.

Masse de fonte, qui se solidifie dans les fourneaux d'affinerie.

— de minerai, gisement de minerai en amas.

— des hauts fourneaux (*Grande*) (Voyez *Cheminée supérieure*).

— supérieure (*Petite*) (Voyez *Bure*).

Massé (Voyez *Loupe*).

Masseau, lopin déjà cinglé.

Masselet, petite loupe ou lopin.

Masselotte, masse de fonte excédant, dans la coulée, la matière nécessaire; se dit plus particulièrement de l'excès dans la coulée des canons, que l'on rend très considérable dans la vue de comprimer le métal et d'empêcher les soufflures.

Masset (Voyez *Loupe*).

Massif de haut fourneau.

Matte, la première fonte impure d'un minerai; se dit plus particulièrement d'un sulfure métallique fondu.

Mazéage, affinage du fer pratiqué dans le Nivernais.

Mazeau, fonte obtenue dans le mazéage.

Mazelle, fonte coulée sur des scories dans l'affinage à la bergamasque.

Mazer, liquéfier de la fonte et la couler en plaque.

Mazerie, usine où l'on maze le fer.

Mentonnet des soufflets, pièce de bois sur laquelle les cammes exercent leur action pour soulever et comprimer le soufflet.

Méplat, fer dont la largeur est égale au moins au double de l'épaisseur.

Mettre hors, éteindre le fourneau, arrêter le travail.

Mettre en feu (Voyez *Mise en feu*).
Minerai de fer.
— pauvre.
Minerai de fer réfractaire.
— riche.
— fusible.
Mine, lieux d'où s'extraient les minerais.
Mines.
— alumineuse.
— calcaire.
— chaude ou corrosive.
Minette, mine en poussière.
Mise, pièce de fer méplate que l'on prépare pour souder sur de plus grosses.
Mise en feu, commencement de l'opération du fondage.
Modèle, relief de l'objet que l'on veut mouler.
Modérateur, trou rond fermé par une cheville de bois, placé près de la têtière des soufflets pour diminuer la force du vent.
Moine dans le fer (Voyez *Paille*).
Moise d'ordon, pièces de bois entaillées qui lient entre elles les pièces qui forment la base de l'ordon.
— de bocard.
Montant d'ordon, pièces de bois qui soutiennent la partie supérieure de l'ordon.
Mouffle, disposition faite dans un fourneau pour exposer les corps à l'action du feu sans le contact des charbons.
Moulage, formation des moules pour y couler la fonte.
— en sable.
— en terre.
— à découvert.
Mouleur, ouvrier qui fait des moules.
Mouton, machine à compression par le choc.

Moyen fourneau, de cinq à douze pieds de hauteur.
Moyenne, fer aplati en verge carrée de quarante neuf lignes sur sept d'épaisseur.
Muffle des soufflets, orifice des buses.
Munz-stahl, acier employé aux coins des monnoies.
Muraillement.
— des fourneaux de réverbère.
— des fourneaux de cémentation.
— des hauts fourneaux (Voyez *Double muraillement*).
Mureau, mur qui contient la tuyère.
Museau de la tuyère, partie qui s'avance dans le fourneau.

Nasse de four de fenderie, petit berceau pratiqué dans le fond du fourneau, pour y introduire de très grandes barres.
Nez de la tuyère, tuyau de scories ou de fer qui s'attache à la bouche de la tuyère.
Nerf du fer, filaments intérieurs formés par la malléation à froid.
Nids de minerai, petits amas de minerai disséminés.
Noircissement des moules.
Noir-ployant, tache brune du fer qui indique qu'il est ductile.
Noyau des moules, masse de matière qui doit conserver le creux des objets coulés.
Numéro des gueuses, instrument de fer pour numéroter les moules.

Odeur du fer, du fer brisant.
Œil du fourneau (Voyez *Chio*).
— du marteau, ouverture pour passer le manche.
— du pertuis, partie la plus étroite des trous de la filière.

OEil du fourneau de la tuyère, ouverture par laquelle l'air entre dans le fourneau.

Ordons, assemblages dans lesquels les marteaux de forge se meuvent.

— à bascule.

— à drome, dont la charpente est maintenue par une grande pièce de bois nommée *drome*.

— à soulèvement.

— en granit.

— mus par des chevaux.

— dont le marteau est soulevé par la tête.

Oreiller des soufflets, morceaux placés dans les angles du culeton (côté large du gîte) pour contenir fortement les rebords.

Osmund, qualité de fer de Suède.

Ouvrage des hauts fourneaux, partie de la cuve située entre les étalages et le creuset.

Ouvreaux, ouvertures dans les fourneaux.

Pages de la tympe, poids qui appuient le bout de la tympe du côté extérieur de l'ouvrage, et qui servent de point d'appui aux ringards.

Paille, employée dans le moulage, afin de conserver un courant d'air.

Pailles de fer, lames de fer qui se détachent et qui s'opposent au soudage.

Pale, grande pelle pour boucher les vannes.

Palette, instrument d'affinage.

Pamer, propriété qu'ont les aciers de se désaciérer en les forgeant.

Panier a charbon, pour le transport.

Panne d'enclume, partie supérieure étroite sur laquelle pose le fer à forger.

—de marteau, partie inférieure, et qui frappe le fer.

— des martinets, *idem*.

Paquet (*Tremper en*), tremper l'acier, après l'avoir fait chauffer dans un cément.

Parage du fer (Voyez *Parer*).

Parer le fer, dresser ses faces en le passant sous la longueur de la panne.

Parois des fourneaux.

— des soufflets, faces mobiles qui permettent le rapprochement des plans supérieur et inférieur.

Passe-partout, barre plate pour comprimer le sable dans les châssis à mouler.

Passe-perle, fil de fer qui fait le partage de la série des fils gros et moyens de celle des fils très fins.

Patin, pièces des modèles des marmites.

Patouillet, machine pour laver les minerais.

— à rotation.

Patron, modèle en bois dont on se sert pour former les creusets et les étalages en sable.

Pavillon de la tuyère, la plus grande ouverture de la tuyère, l'ouverture extérieure.

Pelles, instruments des hauts fourneaux, etc.

Percée (*La*), pour couler la fonte des hauts fourneaux.

Perçoir, instrument d'affinerie pour percer le chio.

Petite masse inférieure, réunion des étalages, de l'ouvrage et du creuset des hauts fourneaux.

— supérieure (Voyez *Bure*).

Pièce, nom que porte la loupe après qu'elle a été cinglée.

Pied-d'écrevisse, pièce de bois placée dans le pied des ordons à drome.

Pierre des costières, qui forment les deux faces des creusets.

— de rustine, qui forme le fond vertical du creuset.

Pierre des costières de sole, qui forme la base du fond horizontal du creuset.

Pilier de coeur, masse du double muraillement des hauts fourneaux qui sépare deux embrasures.

Pilons de bocard, grands pilons de bois mus par des cammes.

Pilotis, pièces de bois enfoncées dans un terrain mou ou mobile pour fonder un haut fourneau.

Pisé, maçonnerie en terre placée dans le double muraillement des hauts fourneaux.

Pissée, écoulement des scories.

Piston des soufflets.

— des machines à colonne d'eau.

— des machines soufflantes.

— des machines à vapeur.

Planer le fer, le rendre plan à coups de marteau.

Plaques de creuset, plaques de fonte dont on forme l'intérieur du creuset.

Plateau, espèce de tuile ou de brique sur laquelle on dispose la ferraille que l'on veut reforger.

Platine de casserie, fer martelé en feuille.

— fille, petite platine que l'on réunit en trousse et que l'on retient avec des platines plus larges.

— mère, grandes platines qui retiennent les plus petites.

Platiner, martelage que l'on fait subir aux fers que l'on destine aux tôles ou aux casses.

Platinier, ouvrier qui platine le fer.

Plie, morceau de fer plié en deux pour platiner deux tôles à la fois.

Plombagine (Voyez *Graphite*), surcarbure de fer.

Plume-soeuil, grosses pièces de bois destinées à supporter les empoises sur lesquelles tournent les tourillons des arbres.

Poche, grande cuillère de fer enduite d'argile pour puiser la fonte et la couler.

Poil de vache, employé dans le moulage en terre.
Poitrine de fourneau, partie antérieure rentrant du côté des tympes, que l'on nomme communément marâtres.
Pompe a air (Voyez *Machine soufflante* et *Soufflets*).
— hydraulique, analogue aux soufflets hydrauliques.
Porte de fourneaux de réverbère.
Porte-ressort, pièce qui porte les ressorts des soufflets de bois.
Porte-vent, tuyau pour conduire le vent des machines soufflantes.
— des trompes.
— des régulateurs.
Poterie de fer, vases et ustensiles en fonte de fer.
Poule (*Acier*) (Voyez *Acier-poule*).
Poulette, minerai de fer en grains de l'île d'Elbe.
Puissance des gites de minerai.
Pyrites martiales, combinaison de souffre et de fer.
Pyromètre, instrument pour mesurer les hautes températures.
— par l'augmentation de volume des métaux.
— par la loi du refroidissement du fer.
— de Wedgwood.

Rabot-marteau (Voyez *Ressort*).
Rable, instrument en fer ou en bois pour étendre, remuer les matières, etc.
Rabot, instrument de bois ou de fer pour remuer les minerais dans l'eau.
Racloir, lame de fer pour racler le sable des moules.
— en fer aciéré et trempé, pour racler le fer des cercles forgés aux cylindres.

Raffinage, purification du métal.

Rape pour mouler en sable.

Ranguette ou rangette, tôle de grande dimension.

Rasse, mesure d'osier pour charger le charbon dans les hauts fourneaux.

Rateau, instrument à dents pour ramasser le charbon.

Rauhstahl, acier brut.

Réchaud (*Tôle à*) (Voyez *Tôle*).

Recingler, cingler une seconde fois une pièce qui ne l'a pas été suffisamment.

Recuit, échauffement que l'on fait subir au fer ou à l'acier, pour le rendre plus mou.

Recurage de la tôle, pour enlever l'oxide resté après le décapage.

Redressage des barres de fer.

Redresser le fil de fer, lui faire perdre les plis qu'il a contractés.

Réduction, désoxidation des minerais; conversion en régule, ou métal pur.

Registre, ouverture faite aux fourneaux à réverbère et garnie d'un obturateur, pour varier les courants d'air et modifier le tirage des cheminées.

Régulateur des soufflets ou des machines soufflantes, réservoir qui oblige le courant d'air à sortir avec plus d'uniformité.

Régule de fer (Voyez *Fonte* et *Fer cru*).

Relever le fourneau, enlever le laitier aggloméré avec les charbons à l'entrée du creuset des hauts fourneaux, pour que le laitier de l'intérieur puisse couler plus facilement.

Renard, fonte affinée dans le creuset des hauts fourneaux.

RENARD, loupe formée dans une renardière.
— pièce cinglée.
RENARDIÈRE, fourneau d'affinerie dans lequel on fond la gueuse et l'on chauffe les lopins tout à la fois.
RÉPARATIONS OU RHABILLAGES que doivent éprouver les fontes moulées.
RÉSERVOIR A AIR (Voyez *Régulateur*).
RESSORT DE MARTEAU, morceau de bois placé parallèlement au manche du marteau, qui est soulevé avec lui, et qui augmente la force de sa pression.
— des soufflets, morceaux de bandes d'acier qui compriment les liteaux contre le volant.
RÉTREINDRE, diminuer le diamètre d'un cercle en le martelant.
REVENIR (*Faire*) (Voyez *Recuit*).
RÉVERBÈRE (Voyez *Fourneau de réverbère*).
REVÊTEMENT EN BOIS des hauts fourneaux.
RIBLONS, fer ou acier gercé, comme à l'extrémité des barres forgées.
RIGOLE pour la coulée de la fonte.
RINGARD, barre de fer pour manœuvrer dans les fourneaux.
ROCHE (*Ordon en*).
ROERBRECHT, fer brisant, rouverain.
ROGNONS (*Mines en*).
RONDELLES, disques d'acier percés par le milieu, fixés sur un arbre pour découper le fer.
— de fourchettes, petites rondelles placées entre les grandes pour séparer les baguettes refendues.
— de taillants, grandes rondelles pour découper.
ROSE DE L'ACIER, tache couleur d'iris distinguée dans la cassure des barres d'acier de forge.
ROUBLONS (Voyez *Riblons*).

Roue a aube, qui est armée, sur la circonférence, de plans que l'eau choque pour la faire mouvoir.
— à auges ou augets, qui est couverte sur sa circonférence d'espèces d'auges pour y recevoir l'eau qui tombe dedans, et la fait tourner par son poids.
— d'entrée.
— hydraulique.
— d'angle.
Rouge-d'angleterre, tritoxide de fer, employé pour polir le fer et l'acier.
Rouleau, cylindre employé dans le transport des pièces pesantes.
Roulement d'un fourneau, son travail depuis sa mise en feu.
Rouverain, défaut des fers : ils brisent quand on les forge à chaud.
Rustine, face verticale du fond des creusets.

Sableur, ouvrier qui fait les moules de fontes marchandes.
Saumon, fonte de fer en prismes de deux à cinq quintaux.
Saut, pente où l'eau commence à tomber sur les roues.
Scharz-stahl, acier pour les tranchants des taillandiers.
Scories, verres terreux tenant plus ou moins de fer en dissolution.
— pauvres, qui contiennent peu de métal.
— riches, qui en sont chargées.
Secoueux ou secoueur, instrument de bois qui sert à rompre les chapes des moules après y avoir coulé la fonte.
Scifen-wereck, amas de minerais par dépôt.

Semelle, pièce de bois qui fait la base des bocards.
— morceau de fer qui a été préparé, plié et forgé pour le travail de la tôle.
Servante, anneau de fer pour serrer les tenailles.
Sole (*Pierre de*), pierre placée sur la sole des fourneaux.
— des fourneaux de réverbère, surface intérieure du fond des fourneaux, sur laquelle on place les matières que l'on veut griller ou fondre.
Solière, fer aplati en verge carrée de 54 lignes de large sur 6 d'épaisseur.
Sornes, masse qui reste dans les foyers, après qu'on a cessé le travail.
Souchons, petites barres de fer de 48 lignes de large sur 18 d'épaisseur.
Soufflerie, équipage complet d'un soufflet ou d'une machine soufflante quelconque.
Soufflets.
Soupape, diaphragme mobile qui permet, par son mouvement d'ascension ou d'abaissement, l'entrée ou la sortie d'un fluide.
— à clapet.
Spatule, barre de fer terminée en cuillère plate.
Stigar, mesure de charbon.
Stock d'enclume, gros billot de bois qui supporte l'enclume.
Stock-werck, gîte de minerais en masse.
Stratification des minerais, arrangement par couches superposées et successives.
Stuck, masse de fonte retirée du traitement des minerais par une méthode particulière.
Stuck-ofen, fourneau dans lequel on obtient des stucks.
Suer le fer, lui donner une chaude complète.
Surchauffer le fer, lui donner une chaude forcée qui le fond en oxide de fer.

Tabarin, morceau de bois qui ferme la clé de la charpente de la drome.

Taillants des fenderies, rondelles de fer fixées dans un axe pour découper le fer.

Taille, plan incliné sur lequel glissent les tenailles de la tréfilerie.

Taques, plaques de fonte qui environnent les creusets d'affinerie.

Taquerer, plaque de fonte que l'on pose sur la tympe, et que l'on appuie contre le creuset, pour soutenir les étalages.

Tempérer (Voyez *Recuire*).

Tenelles, petites tenailles.

Test, vase en terre pour rôtir et griller les minerais que l'on essaie.

Tête de marteau.

Têtière de soufflet, masse carrée qui termine le fût d'un soufflet, où est le centre d'oscillation.

Tirerie, usine où l'on fabrique le petit fil de fer, et dans laquelle ordinairement le fer est tiré à la main.

Tireur, ouvrier qui tire le fil de fer dans les fileries.

Tocage (Voyez *Toquerie*).

Toiles, feuilles de fonte très minces, qui se forment à la commissure des deux parties dont les moules sont composés.

Tôle, feuilles de fer minces.

— à cric.

— à enseigne.

— à étrille.

— à palastre.

— à réchaud.

Tôle à serrure.

Tôlerie, usine à fabriquer des tôles.

Toquerie ou taquerie, ouverture pour jeter le

bois qui est placé au-desssus des foyers des fourneaux à réverbère.

TORCHETTE (Voyez *Spatule*).

TOURBE, amas de végétaux enfouis.

— bourbeuse.

— de poix.

— des gazons.

— des marais.

— sèche.

TOURQ, mesure pour charger les minerais.

TRANCHANTS DE L'ACIER.

TRANCHER LE FER, le forger sous la partie droite de la panne du marteau.

TRANCHER, instrument pour mouler en sable.

— espèce de coin pour fendre ou couper le fer chaud.

TRÉMIE DE L'ÉGRAPPOIR, espèce de pyramide creuse dans laquelle on jette le minerai.

TRÉFILERIE, usine où l'on fabrique le gros fil de fer.

TREMPER, chauffer le fer et l'acier, puis refroidir promptement pour durcir.

— en paquet, refroidissement subit de l'acier, après l'avoir chauffé dans un cément charbonneux.

TROMPE, machine soufflante dans laquelle l'air se dégage de l'eau qui l'avait entraîné.

TROMPILLES, ouvertures par lesquelles l'air entre pour se mêler avec l'eau dans les trompes.

TROMPILLONS, trompilles des Pyrénées.

TROUSSE, réunion de lames de métal, pour être chauffées ensemble, martelées, soudées et forgées.

TROUSSE DE DÉCOUPOIR, système de rondelles et de fausses rondelles pour découper le fer.

TRUELLE, instrument employé dans la moulerie en sable.

Truie (Voyez *Loup*).

Tuthie, métal vaporisé, qui s'attache aux bords supérieurs du gueulard.

Tuyère, cavité en fer ou toute autre substance, qui reçoit les buses des machines soufflantes.

Tympe, plate-bande qui soutient la maçonnerie au-dessus de l'ouverture par laquelle les scories coulent dans le devant des hauts fourneaux.

Usine, endroit où l'on fond et l'on affine le fer.

Vache (*Tirer la*), faire mouvoir la branloire dans le soufflet de cuir, soit avec le pied, soit avec la main.

Valonne (*Affinage à la valonne*).

— (*demi-*), sorte d'affinage.

Van, mesure pour le charbon.

Varme. C'est, dans un creuset d'affinerie, le côté du vent ou de la tuyère.

Vent (*Fourneau à*) (Voyez *Fourneau*).

Ventaux, ouverture par laquelle l'air entre dans les soufflets.

Ventillon, soupape des ventaux des soufflets.

Ventouses, ouvertures pour laisser sortir l'air et l'humidité des massifs des fourneaux.

Ventre du fourneau, endroit de la cuve où se réunissent les deux bases des pyramides.

Verges crénelées, petites verges de fer qui conservent encore l'empreinte des coups de marteaux, et que l'on emploie dans les clouteries et dans les fileries.

Verges de fenderie, fer aplati sous les espatards et coupé dans les fenderies; fer refendu.

Vertes-fraîches, cadmies de couleur verte.

Vide (*Aller à*), laisser échapper la pièce et frapper le marteau sur l'enclume.

Vide des fourneaux (Voyez *Cuve*).

Vitrière, fer aplati de 33 lignes de largeur et 3 d'épaisseur.

Vives fontes, fontes de mines qui sont très coulantes.

Voilure de l'acier, courbure qu'il prend dans la trempe.

Volant des soufflets, diaphragme mobile, celui que l'on meut pour aspirer et expirer l'air.

Voussoir, emplacement pratiqué dans le massif des hauts fourneaux, pour arriver près du creuset.

Wootz, acier de Perse ou de l'Inde.

DESCRIPTION

DES

OUTILS ET INSTRUMENTS

EN USAGE DANS LE TRAVAIL PROGRESSIF

DES HAUTS FOURNEAUX,

AFFINERIES ET OBJETS ACCESSOIRES.

INSTRUMENTS SERVANT A L'ESSAI DES MINERAIS DE FER, — 1° PAR LA VOIE HUMIDE (voir les traités de docimasie), — 2° PAR LA VOIE SÈCHE.

Un mortier pour la pulvérisation des minerais. — Ceux en fonte sont les plus convenables, parce qu'ils n'introduisent rien d'étranger dans la matière à essayer.

Des tamis pour passer la poudre. — Le premier peut être en fil de fer; celui qui suit en grosseur peut être en crin, et les plus fins en soie.

Une balance bien sensible, qui puisse peser à la fois 25 grammes au moins, et qui puisse évaluer les millièmes de grammes. — Il convient de la suspendre dans une cage de verre, à la manière des essayeurs des monnaies, pour que l'agitation occasionée par l'air n'ait pas d'influence sur les résultats.

De bons creusets. — Cet objet est essentiel. Ils doivent supporter le feu sans se fondre et sans se

gerer. Les creusets dits de Hesse sont en général bons.

Petits cylindres peu épais, pour supporter les creusets. — On leur a donné le nom de *fromages*.

Une forge, ou, ce qui vaut toujours mieux, un fourneau d'essai. (*Voyez* ce fourneau, figuré nos 1, 2 et 3, planche Ire.)

Un tas et un marteau pour casser le creuset, en extraire le culot, et dépouiller celui-ci des scories qui l'enveloppent.

Une lime, pour s'assurer si le fer est doux et susceptible d'être limé.

Tenailles en fer, dont les mâchoires soient assez grandes pour embrasser facilement les creusets.

Dans plusieurs cas où, préalablement à la fusion, il faut griller le minerai à essayer, on se sert pour cet effet d'un têt à rôtir. Ce n'est qu'une espèce de capsule ou de soucoupe en terre cuite.

Il convient alors d'avoir une spatule en fer pour retourner le minerai dans le têt à rôtir.

TRAVAUX D'EXPLOITATION.

Nous avons donné, dans le corps de l'ouvrage, la description des machines et grands appareils employés, et plusieurs sont figurés d'ailleurs sur les planches qui y sont jointes. Nous ne rappellerons donc ici que les outils proprement dits, et les petits ustensiles à l'usage de l'exploitation.

Marteaux de triage. — Il y en a de trois sortes. Les uns on la forme d'un prisme quadrangulaire, emmanché par le milieu ou par un seul bout; d'autres ont la forme d'un prisme par un bout et d'un coin par l'autre; enfin, les troisièmes ont la forme d'un double coin. Dans beaucoup de circonstances, les biseaux des coins sont utiles pour séparer plus

facilement les substances adhérentes entre elles.

Crible suspendu sur un baquet plein d'eau, pour débarrasser les minerais boueux de la vase qui les enveloppe, au moyen d'une grande affusion d'eau sur le minerai placé dans le crible. Quelquefois on suspend ces cribles à l'extrémité d'un levier flexible qui permet, avec un léger effort, de plonger le crible dans le baquet plein d'eau, ou bien on les place sur deux barres, pour faciliter le mouvement de *va et vient.*

Rabot pour agiter les minerais dans un basssin plein d'eau, pour le lavage. — Cet instrument est quelquefois tout en bois, et celui-ci est trop généralement connu pour qu'il soit besoin de le décrire. D'autres fois, c'est un rabot courbe en fer avec un manche de bois.

Pelle de bois avec laquelle on retire le minerai des bassins.

POUR LAVER LE MINERAI PAR IMMERSION ET PAR SECOUSSES.

Chaudrons percés de trous de grandeur suffisante pour laisser passer la terre que l'eau entraîne, et assez petits cependant pour retenir le minerai.

Panier dans lequel on lave le minerai, et à travers les interstices duquel les terres entraînées par l'eau peuvent passer.

POUR SÉPARER, MESURER, CHARRIER LE COMBUSTIBLE ET LE FONDANT QUE L'ON CHARGE DANS LES HAUTS FOURNEAUX.

Brouettes. — Les unes sont en bois, pour transporter les paniers ou corbeilles de charbon. D'autres sont en tôle, pour le transport des fers, des

saumons, des fragments de fonte, et même des scories encore chaudes.

Caisse en bois montée sur une espèce de brouette, servant à transporter le charbon.

Caisse en bois supportée par deux leviers en forme de civière, pour le même service.

Voiture d'osier pour le transport du charbon.

Rasse, van ou corbeille. — Espèce de panier qui sert à mesurer le charbon ; il ressemble assez au van avec lequel on nettoie le grain.

Conche, ou conge. — Morceau de bois creusé, servant à mesurer et à transporter le minerai et les fondants.

OUTILS POUR LE GUEULARD DES HAUTS FOURNEAUX.

Bécasse avec laquelle on sonde le gueulard, pour s'assurer si la charge est descendue et si l'on en peut placer une nouvelle.

Masse servant à comprimer le charbon et le minerai chargé par le gueulard.

INSTRUMENTS DES CHARBONNIÈRES.

Râble.

Rateau.

INSTRUMENTS EMPLOYÉS DANS LES BAS FOURNEAUX, OU FOURNEAUX A LA CATALANE.

Ringard de fer très grand. — C'est un gros levier avec lequel on manœuvre sur le devant du fourneau.

Ringard plus petit.

Barre de fer crénelée, qu'on place dans l'embrasure de la coulée, pour soutenir les ringards, afin de faciliter la manœuvre sur le devant des fourneaux.

Crochets servant à retirer les crasses, les scories et les matières infusibles qui s'attachent aux parois des creusets.

Torchette. — Espèce de verge, ou de spatule en fer, employée pour nettoyer l'ouverture de la tuyère, et boucher avec de la glaise le trou de la coulée.

OUTILS EN USAGE DANS LA PARTIE BASSE DES HAUTS FOURNEAUX.

Charrue. — Espèce de pioche triangulaire avec laquelle on creuse la rigole de la coulée et le moule de la gueuse.

Bêche pour creuser le sable.

Pelle de fer avec laquelle on porte les morceaux d'argile qui servent à boucher le trou de la coulée.

Crochet de fer servant à retirer les crasses du creuset, et à aplatir le bouchon d'argile placé dans le trou de la coulée.

Baguettes de fer avec lesquelles on imprime dans les moules le numéro des gueuses.

Leviers de fer qui servent à remuer les gueuses, les saumons et les gros fardeaux.

Charriot de fer servant à transporter les flosses ou loupes.

Balance romaine pour peser les saumons, les queues, et toutes autres grosses masses.

OUTILS EN USAGE DANS LA MOULERIE DES FONTES.

1° Pour les moules à découvert.

Charrue, ou espèce de pioche, avec laquelle on creuse le sol de l'embrasure.

Pelle en fer, pour diviser et transporter le sable du moule.

Rabot pour étendre et égaliser le sable.

Marteau ou maillet en bois, pour comprimer la terre du moule et enfoncer le modèle.

Niveau servant à placer horizontalement le modèle.

Espèce de couteau de bois, en forme de coin, pour équarrir les vides et enlever les terres tombées dans le moule.

Petite planchette pour unir les surfaces.

Sac de toile rempli de poussière de charbon, pour saupoudrer la surface du moule.

2° Pour les moules en terre.

Masse pour casser la terre.

Espèce de couteau pour couper la terre molle et plastique.

Tamis pour passer la terre, soit sèche, soit délayée.

Petite manivelle pour tordre la paille qui sert à garnir les axes sur lesquels on tourne les modèles.

Calibre pour donner au modèle les formes et les dimensions qui lui sont propres.

Compas pour mesurer le diamètre des objets tournés.

3° Pour le moulage en sable fermé.

Rouleau pour écraser le sable.

Racloir pour affleurer le sable.

Maillet.

Cogneux avec lequel on comprime partiellement le sable.

Batte à anses.

Batte à parer.

Batte ronde.

Batte pyramidale.

Passe-partout, ou batte plate et longue.

Marteau à une et à deux pannes.

Cuillère dont la convexité sert à aplanir l'intérieur des chappes des moules.

Espèce de cuillère en forme de gouge.

Couteau ordinaire.

Truelle.

Tranche.

Rape de fonte dont on se sert pour décroûter les pièces.

Secoueux pour rompre les chappes des moules.

Brosse.

Bouchon de laine.

Houssoir.

Tire-laine pour retirer les tampons de laine qui bouchent les trous des moules.

Sac rempli de fraisil pour saupoudrer les moules.

Poche. — Espèce de cuillère de fer avec laquelle on puise la fonte dans l'avant-foyer.

INSTRUMENTS ET OUTILS EMPLOYÉS DANS L'AFFINAGE DE LA FONTE.

Ringards de diverses grandeurs.

Fourgon, ou *écossaise*, pour repousser les charbons.

Crochets pour sortir la loupe.

Pelles de fer pour transporter des battitures et des scories.

Tenailles à cingler.

Grosses tenailles à chauffer les pièces.

Tenailles à coquilles pour tenir les pièces et les porter sous le marteau.

Petites tenailles.

Chaîne, anneau, ou *servante*, pour serrer les tenailles.

Baquet pour l'eau à jeter sur le feu.
Spatule en fer.

OUTILS ET INSTRUMENTS POUR COUPER LE FER ET DIVISER LES LOUPES.

Hache avec laquelle on partage en deux, ou en un plus grand nombre de parties, le *stuck*, ou masse de fer solide que l'on sort des *stuck-ofen* ou fourneaux à masse.

Ciseau formé d'un coin, fixé à une barre de fer, pour diviser les loupes en plusieurs parties.

Hache-paille. — Marteau à deux tranchants, pour couper et enlever les pailles qui se forment sur les barres de fer en les forgeant.

Hacheron employé pour le même objet.

Grosses cisailles pour couper les barres de fer.

OUTILS DES FONDERIES.

Tenailles pour tirer le fer du four.

Gambiers. — Espèce de crochets pour retirer les fantons, lorsque les barres sont coupées.

Tenailles cintrées, pour pendre les verges fondues et les porter à l'atelier.

FIN.

ERRATUM.

—

Nous croyons que le mot *habitat*, substitué à celui de gisement (parlant des minerais de fer), doit exclusivement appartenir à l'histoire naturelle des végétaux. Ce premier mot, échappé par inadvertance, page 69 du 1er volume, offre au surplus une faute moins essentielle que l'omission du mot *relativement*, qui a eu lieu à la page 125. Là, on fait dire à l'auteur que le coke ou charbon de houille de la meilleure qualité, et éminemment propre à la fusion des minerais, doit être léger. Dans un sens absolu, cette proposition, évidemment fausse, serait d'autant plus absurde, que plus loin on a professé une doctrine diamétralement opposée. C'est en effet le coke le plus dense (quand il provient de houille grasse) que l'on doit préférer pour toute espèce de fusion. On n'avait voulu parler de la légèreté du coke de bonne houille que pour l'opposer à la pesanteur très grande du coke pulvérulent provenant des houillers calcaires, et qui reste chargé d'une proportion de matières terreuses toujours nuisible à l'effet calorifique, et souvent embarrassante dans le traitement des minerais de fer. C'est uniquement à ce sens limité que l'auteur avait restreint l'acception du mot *léger*, en le faisant suivre du mot *relativement*.

AVANT-PROPOS.

Il serait tout-à-fait oiseux, et presque injurieux pour la sagacité de ceux qui nous liront, de s'appesantir ici sur l'extrême importance de notre sujet. S'il est pour la France une question qu'on puisse dire vitale, et qui, par honneur, par politique, et dans un intérêt pressant, la touche de bien près, c'est incontestablement celle d'une production abondante de fer de qualité égale à celui qui lui vient de l'étranger.

« L'art du fer, dans ses divers degrés de per-« fectionnement, marque exactement le progrès « de toute civilisation », nous répétait dans ses cours, aujourd'hui trop oubliés, l'éloquent et savant Fourcroy. Or la nation française est-elle à cet égard placée au point d'éminence que sembleraient devoir lui assurer les lumières qui l'éclairent, la science de ses professeurs, la réputation méritée de ses écoles spéciales, le génie de son industrie? L'état de nos grosses forges en général répond pour nous : Non.

Nous pourrions peut-être sans rougir attendre des Anglais, nos maîtres en beaucoup de bonnes choses, des leçons en échange desquelles ils reconnaissent que sur beaucoup de points nous sommes en fonds pour nous acquitter. Il est des supériorités tellement décidées que l'on peut s'y soumettre sans honte et sans murmures.

Mais que sur le sol esclave et abject de la froide Sibérie, que dans la molle Italie, et même jusque dans la ténébreuse Espagne, nous voyions utiliser dans les forges certaines pratiques introduites par le patriotisme éclairé de quelques seigneurs, ou qui sont le fruit d'une longue et vulgaire expérience, sans que nous ayons encore su généralement nous les approprier, voilà qui est intolérable.

Sans doute dans ces derniers temps la science de l'exploitation du fer a fait chez nous de grands progrès, et plusieurs de nos maîtres de forges peuvent avec justice joindre à ce titre celui de maîtres très experts en leur art. Mais ces précieuses connaissances, cette heureuse pratique, sont encore concentrées dans un petit nombre de mains, et la grande majorité des usines à fer, isolées, disséminées sur une immense étendue, reste livrée à une routine qui remonte au temps d'Agricola. Il est même des localités dans lesquelles la mine a changé de nature, tandis que les hommes sont restés immuables dans leurs idées, malgré la succession des générations. Les aïeux traitaient un minerai qui pouvait exiger un fondant calcaire; aujourd'hui il y faudrait substituer un fondant argileux ou siliceux, et c'est encore la *castine* qui accompagne le minerai dans les charges. De là ces fondages lents, difficiles, peu productifs, l'engorgement fréquent des fourneaux, la mauvaise qualité et l'exiguité des produits; de là enfin la langueur d'un grand nombre d'usines placées au centre du combustible,

et qui (peut-être à la facilité des communications près) réunissent tous les éléments de prospérité pour qui saurait s'en prévaloir. C'est un mal radical pour le pays, car nous ne saurions trop nous pénétrer de cette vérité : La prospérité du commerce résulte moins de la splendeur particulière de quelques établissements que du bien-être général; mieux vaudrait moins de perfectionnements dans une localité particulière, et une diffusion plus large de ce qu'il y a de bon et d'utile à pratiquer dans toutes.

Tel est en général le fâcheux état des travaux pratiqués chez nous. Combien il contraste avec les théories! Où en trouver de plus éclairées, de plus universellement répandues qu'en France? Pour ne rien dire de l'ensemble des connaissances chimiques, des saines notions de physique, des effets de la chaleur si bien appréciés dans les fourneaux, des notions de calcul et de mathématiques appliquées devenues si vulgaires; pour nous borner en un mot à l'objet spécial dont nous nous occupons, jetons les yeux sur l'école spéciale des mines; voyons ses précieux et continuels travaux; rappelons-nous ceux des écoles pratiques fondées sur divers points du ci-devant empire, cette école de Moustiers principalement, si laborieuse, où des élèves pleins d'ardeur, de zèle, de connaissances déjà acquises, se livraient à des travaux de recherches si habilement dirigés par de savants professeurs. Quelle est à cet égard la nation en Europe qui possède une collection de mémoires exacts et méthodiques plus nom-

breuse que celle qu'offrent les annales de notre école des mines ?

Rien ne manque en France que de faire pénétrer tant d'utiles notions sur les points les plus reculés des foyers de l'instruction, chez les fondeurs, les contre-maîtres, les ouvriers, pour lesquels la volumineuse collection des *Annales des mines* est comme si elle n'existait pas, et qui, l'eussent-ils à leur disposition, ne pourraient tirer aucun parti des matériaux isolés qui s'y trouvent répandus sans aucune liaison qui forme un corps d'opérations métallurgiques sur le fer. C'est cet ensemble systématique que nous nous proposons d'offrir aux lecteurs de la *Bibliothèque industrielle*. Nous nous abstiendrons ici de toute banale apologie de notre zèle, de nos soins, de notre bonne volonté : nous savons trop qu'aux yeux de l'acheteur d'un livre la bonne intention n'est pas réputée pour le fait. Le public verra bien, et il nous jugera mieux que nous ne pourions le lui recommander.

Nous entendons au surplus journellement répéter que, depuis la pacification de l'Europe, les procédés importés d'Angleterre en France ne laissent presque plus rien à désirer pour le perfectionnement de la fabrication du fer. Il y a là une erreur palpable et qui naît d'une confusion de mots. Si par fabrication du fer l'on entend opérations des hauts fourneaux, production de fonte ou fer cru, ou même fer de masses, cinglé à la sortie du creuset, amélioration ou augmentation des produits, je nierai l'assertion. Je reconnaîtrai cependant

qu'il est très possible que quelques maîtres de forges plus diligents, tels que déjà j'en ai signalé plus haut, aient été s'éclairer encore davantage en Angleterre, et en aient rapporté d'utiles observations, ou aient engagé à leur service des fondeurs anglais; cela est même certain : mais la grande majorité des fabricants n'ont rien changé à leur allure. Cela est tout simple. Le maître de forges qui est allé s'instruire à grands frais n'a aucun intérêt personnel à être communicatif envers ses confrères. Si au contraire l'on ne veut parler que du travail moderne des forges à l'anglaise pour la conversion de la fonte en fer malléable, du puddlage, laminage, etc., ce sera tout autre chose. On ne peut à ce sujet éviter d'être taxé d'exagération, même en se renfermant dans les bornes d'un fait. Jamais révolution industrielle n'a été aussi subite, aussi rapidement communiquée ; le choc a été comme électrique : il a bien démontré toute l'énergie de l'industrie française stimulée et secondée. Cette révolution ne date même pas de la paix avec l'Angleterre. A la vérité, vers l'année 1814 ou 1815, époque de la pacification, quelques fabricants, au nombre desquels il y a à citer honorablement feu M. de Wendel, firent le voyage d'Angleterre et en rapportèrent des procédés qu'ils exécutèrent plus ou moins heureusement, mais avec plus ou moins de lenteur. Il fallait pour la propagation de ces procédés plus de perfection, et quelque chose de nature à frapper davantage les imaginations ; il fallait surtout que les personnes tentées d'introduire

de tels changements dans leurs usines pussent préalablement acquérir la conviction d'être à même de les effectuer rapidement, pour éviter le chômage, et sans incertitude ni sur le succès ni sur la somme des capitaux à y affecter : toutes ces conditions ont été offertes aux spéculateurs, mais vers l'année 1822 seulement. A cette époque, deux ingénieurs anglais, capitalistes instruits, vinrent s'établir à Charenton près Paris. Dans un ancien couvent délabré, qui, aux yeux d'entrepreneurs français, aurait à peine semblé susceptible de recevoir la moindre usine, on vit se former comme par enchantement le plus rare établissement de forges à cylindres, de fonderies de pièces énormes et compliquées, d'ajustages de machines, de tours d'une force prodigieuse, etc., etc. Dans cet atelier, offert à l'examen des fabricants, se voyaient réunis le précepte et l'exemple. Il ne faut pas s'étonner qu'il ait eu tant d'imitateurs dans quelques unes de ses branches. Désormais on est affranchi de tant de difficultés ; il n'y a plus à se résigner à des années d'attente pour la mise en activité ; plus de stagnation du capital consacré à l'établissement : quelques mois suffisent ; on sait d'avance quel sera le montant de la dépense à faire. Le roulement des machines est garanti pour une époque fixe ; les forces motrices sont calculées dans leurs effets ; les produits en matières rigoureusement évalués ; l'inexpérience même de l'entrepreneur n'est plus un obstacle, puisque le montage, la mise en train, la conduite des machines pendant un temps plus ou

moins long, tout est convenu et repose sur les soins des mécaniciens anglais ou des ouvriers qu'ils y commettent. Tant de facilités, tant de promptitude, rendent raison de l'influence extraordinaire exercée par l'établissement de Charenton sur les déterminations de tous ou presque tous les nombreux individus qui, dans un intervalle de quatre ans seulement, se sont décidés à fonder des forges à l'anglaise. Mais, je le répète, la production du fer cru est restée étrangère à tout ce mouvement, à moins qu'on ne veuille prendre en considération l'effet indirect exercé sur les usines à fer en raison de l'augmentation de consommation de la fonte, ce qui a pu stimuler l'industrie des maîtres.

Voici le tableau des établissements de forges à l'anglaise formés aux premiers jours de l'année 1826, ou en construction à cette époque. Ce tableau a été publié d'office par M. le conseiller-d'état, inspecteur divisionnaire au corps royal des mines, Héron de Villefosse. J'en supprime des colonnes qui sont étrangères à mon sujet.

TABLEAU indicatif des établissements dits FORGES A L'ANGLAISE, *dans lesquels on fabrique le fer forgé par le moyen de la houille et du laminoir, au commencement de l'année* 1826.

DÉPARTEMENTS.	NOMS ET SITUATION DES USINES.	NOMS DES PROPRIÉTAIRES ET DIRECTEURS.	NOMBRE DE FOURNEAUX et laminoirs.
Seine.	Charenton, près Paris.	Manby, Wilson et compagnie.	14 fours en activité.
Indre-et-Loire.	Château-la-Vallière, près Tours.	Thomas, Hollond et Stanhope.	
Loire-Inférieure.	La Basse-Indre, près Nantes.	Thomas, Hugues et compagnie.	8 fours, 6 laminoirs.
Morbihan.	Lieu dit Lajoie, commune d'Hennebon.	Hébert, Besné et compagn. (Guérin, directeur).	
Ille-et-Vilaine.	Paimpont.	De Breuilpont, de Cheffontaines et compagnie.	4 fours et laminoirs.
Oise.	Montataire, près Creil.	Mertian frères.	2 fours.
Nord.	Raismes, près Valenciennes.	Renaux, Piolet, Dumont, Leclerq-Sezille.	3 fours et laminoirs.
Meuse.	Abainville.	Muel-Doublat.	6 fours.
Ardennes.	Daigny.	Lamothe-Gontier.	2 d° et laminoirs.
	Brévilly, près Sedan.	Deviller-Bodson.	2 d°.
	Vrignes-aux-Bois, près Mézières.	Gendarme.	2 d°.
	Boutancourt.	Idem.	2 d°.
	Monthermé.	Idem.	2 d° et laminoirs.
	Bairon.	Bertrand.	3 d°.
Moselle.	Guignicourt.	Idem.	3 d°.
	Hayange, près Thionville.	De Wendel.	7 d°.
	Moyeuvre.	Idem.	6 d°.
Haut-Rhin.	Oberbrück.	Levoyer-d'Argenson.	laminoirs seulement.

Haute-Saône.	Port-sur-Saône.	Galaire.	2 fours et 1 laminoir.
	Magny-Vernois.	Pourtalès (Samuel Blum, fermier).	2 d°.
	Maizière, entre Vesoul et Besançon.	Galaire et Patret.	laminoirs à tôle.
	Magnoncourt, près Saint-Loup.	De Buyer.	d°.
	Pont-sur-l'Ognon.	Samuel Blum.	8 fours.
Côte-d'Or.	Châtillon-sur-Saône.	Maréchal duc de Raguse.	7 d°.
Nièvre.	Imphy, près Nevers.	Débladis, Auriacombe et compagnie.	6 d°.
	Forge-Neuve, près Décize.	De Rigny.	2 d°.
	Fourchambault, près Pougues.	Boigues et compagnie.	14 d°.
Cher.	Bigny-sur-Cher.	Mme d'Osmond (Tourangin, fermier).	6 d°.
Saône-et-Loire.	Gueugnon.	Perrault.	3 d°.
	Perrecy-les-Forges.	Auloy.	6 d° et laminoirs.
	Ibidem.	Lagrion.	2 d°.
Loire.	Janon, ou Terre-Noire, près Saint-Etienne.	Comp°. des forges de Loire et Isère.	
		Morel.	8 d°.
	Saint-Chamond, près Saint-Etienne.	Ardaillon et Bessy.	2 d°.
	Saint-Julien, près Saint-Chamond.	Hims, Higs et compagnie.	15 d° et laminoirs.
	Gier.	Neyrand frères.	2 d°.
	Lorette, près S.-Genis-Terre-Noire.	Maréchal duc de Conégliano (Guénard, fermier).	8 d°.
Doubs.	Montcey.	De Terrier de Santans (Martin, fermier).	2 fours.
	Moncley.		2 d°.
	Audaincour et Bourguignon.	Saglio, Humann et compagnie.	laminoirs.
Tarn.	Saut-du-Sabot, près Orthès.	Garrigou et compagnie.	2 fours.
Tarn-et-Garonne.	Bruniquel, près Montauban.	Lapeyrière et compagnie (Pernolet, directeur).	3 feux d'affinerie et laminoirs.
Gironde.	Illon, commune d'Uzeste.	De Groc.	2 d°.
Dordogne.	Ans.	Festugères.	2 d°.
Aveyron.	Aubin.	Compagnie de Cazes. (1)	

(1) Dans le cours de l'année 1826, il s'est formé cinq nouveaux établissements de ce genre.

Nous ne pensons pas qu'il puisse être étranger à l'objet utile de notre ouvrage de présenter quelques aperçus statistiques sur l'état actuel des usines à fer en France, quelques vues sur l'accroissement dont elles sont susceptibles, et des considérations sur les avantages qui en peuvent résulter pour les producteurs. Tout ce que nous offrons ici est textuellement extrait de l'intéressant rapport que vient de faire officiellement sur ces matières, au directeur-général des ponts et chaussées et mines de France, le conseiller d'état inspecteur divisionnaire des mines, Héron de Villefosse.

RÉSUMÉ DES FAITS QUE PRÉSENTENT LES CINQ INSPECTIONS POUR L'ANNÉE 1825.

Inspections.	Départements.	Hauts-fourneaux.	Quintaux métriques de fonte.
1re	15	48	161,450
2e	5	64	338,554
3e	12	191	924,400
4e	5	21	112,750
5e	8	55	77,248
	(1) 45	379	1,614,402

Outre ces fourneaux en activité, il existe huit hauts fourneaux qui, dans le département de l'Isère, procurent presque uniquement de la fonte d'acier, et l'on ne parle pas d'ailleurs ici de plu-

(1) Sur ces 45 fourneaux, 4 vont au charbon de houille ou coke, et produisent 53,000 quintaux métriques de fonte.

sieurs départements méridionaux où il existe des forges catalanes dont il sera question plus loin.

Plus, il existe encore dans les 45 départements susmentionnés, et dans le département de l'Ardèche, qui n'en fait pas partie, 40 hauts fourneaux hors d'activité, et dont le travail peut être repris.

60 autres hauts fourneaux sont en construction.

Le nombre des feux d'affinerie dans lesquels on emploie exclusivement le charbon de bois est comme suit :

Dans la 1re inspection.	145	Pour toute la France.
——— 2e	190	
——— 3e	569	1,125 feux d'aff.
——— 4e	60	
——— 5e	161	

Pour tout l'ensemble de la France le produit moyen d'un haut fourneau allant au charbon de bois est de 4,163 quintaux métriques de fonte par année, et le produit d'un haut fourneau allant à la houille carbonisée ou coke, annuellement de 13,250 quintaux métriques.

La quantité totale de fonte de fer que produit la France est bien loin de suffire aux besoins actuels des nombreux ateliers dans lesquels on l'emploie, soit pour exécuter des objets en fonte moulée, soit pour fabriquer du fer, tant au charbon de bois qu'à la houille. Les besoins de la consommation en fonte et en fer, ont éprouvé un accroissement très considérable. D'un côté l'agriculture est

plus animée, de l'autre l'industrie manufacturière multiplie ses établissements, tandis que de nombreux édifices s'élèvent, non seulement à Paris, à Lyon, et dans toutes les villes, mais encore dans les campagnes. Partout le fer, soit à l'état de fonte, soit à l'état de métal pur, est plus abondamment employé qu'il ne l'était il y a quelques années. Pour s'en convaincre il suffit d'embrasser d'un coup-d'œil toutes ces constructions dans lesquelles la fonte et le fer sont journellement substitués au bois; tous ces ateliers d'éclairage par le gaz, d'où se répandent au loin des conduites souterraines en fonte de fer; les nouveaux moyens de roulage à larges bandes en fer, les bateaux construits entièrement avec ce métal, les chemins en fonte de fer; les grands établissements où l'administration de la marine fait fabriquer des câbles et des caisses à eau en fer; tandis que l'administration de la guerre fait confectionner des lits avec ce métal pour le casernement.

Sur les 28 hauts fourneaux dont la construction est achevée, et qui sont prêts à marcher, 15 doivent aller au charbon de houille ou coke, et 13 au charbon de bois. Les propriétaires espèrent que les hauts fourneaux allant à la houille produiront jusqu'à 24,000 quintaux métriques de fonte chacun par année.

Sur les 32 fourneaux non encore achevés, 25 sont destinés au coke et 7 au charbon de bois.

D'autres causes encore promettent une augmentation prochaine dans la quantité des fontes. Dans

le département de la Haute-Saône, près Gray, MM. Fallatieu se proposent d'employer la houille carbonisée, dite *coke*, dans les deux hauts fourneaux de Baujeu et de Montureux, près Vreux. Dans le département du Cher, au fourneau de la Guerche, la compagnie Boigues est parvenue à remplacer les trois septièmes du charbon de bois que consommait ce haut fourneau par une égale quantité de *coke* provenant de la houille de Saint-Etienne, et cela sans altérer la qualité de la fonte. Cette même compagnie, propriétaire des forges de Fourchambault, situées entre Pougues et Nevers, va étendre le même procédé à huit autres hauts fourneaux qu'elle possède pour le service de ce grand établissement d'affinage du fer à la houille. Plusieurs propriétaires ou fermiers de hauts fourneaux annoncent l'intention d'imiter ce procédé sur divers points où la houille abonde : par exemple, M. Tourangin, fermier des forges de Bigny-sur-Cher, dans le Berri, se propose d'employer le *coke* en multipliant les tuyères dans le haut fourneau de cet établissement, quand le canal de Berri sera terminé. En Franche-Comté, plusieurs maîtres de forges, et notamment M. Isaac Blumm, au fourneau de Baigne, dans la Haute-Saône, s'occupent en ce moment de remplacer les anciennes machines soufflantes par des machines à vapeur ; ils ont le projet d'augmenter la hauteur et la capacité des hauts fourneaux, ainsi que d'autres maîtres l'ont fait déjà avec succès. Cela doit accroître encore les produits en fonte de fer.

Quant à ce qui concerne l'affinage, il paraît certain qu'en l'année 1825 il a été manufacturé

avec la houille, fer en barres	442,000	quintaux mét
avec le charbon de bois	569,540	
Total du fer obtenu.	1,011,540	quintaux mét.

On sait que, dans l'affinage du fer à la houille, le déchet de la fonte est moindre que dans l'affinage au charbon de bois : au lieu d'employer 1,500 de fonte pour obtenir 1,000 de fer, on n'en emploie que 1,350.

Au total de fer forgé que nous avons trouvé ci-dessus (1,011,540 quintaux métriques) il ne s'agit plus que d'ajouter le produit peu considérable des forges catalanes, dans lesquelles on obtient le fer directement du minerai par le moyen du charbon de bois. Ces petits établissements sont presque tous situés dans les départements méridionaux dont se compose la 5e inspection des mines de France : en tout 130 fourneaux, produisant 93,740 quintaux métriques de fer.

Pour achever de faire apprécier l'importance de la fabrication du fer en France, jetons un coup-d'œil rapide sur le nombre d'ouvriers auquel l'industrie des usines à fer procure le travail et le salaire, tant dans l'enceinte même de ces usines que dans les mines et minières, dans les forêts, sur les routes et sur les fleuves, rivières ou canaux.

Les états qui existent à l'administration des mines font voir que l'on peut estimer ce nombre ainsi qu'il suit, pour les hauts fourneaux et les forges

proprement dites, d'où provient le fer en grosses barres, sans compter les nombreux ateliers d'industrie manufacturière dans lesquels on élabore ultérieurement la fonte et le fer, pour en obtenir soit du fer martiné, soit des ouvrages en fonte moulée, soit de la tôle, du fer-blanc, du fil de fer, de l'acier et des outils.

	ouvriers.	
Dans la 1re inspection	12,627	Total 69,617 ouvriers.
——— 2e	11,520	
——— 3e	30,520	
——— 4e	3,780	
——— 5e y compris les ouvriers des forges catalanes	11,170	

Quelques considérations déduites de faits avérés achèveront de faire sentir l'influence que les usines à fer de la France exercent sur la prospérité de l'état. D'après ce que nous avons vu, on peut estimer la valeur totale qui est produite annuellement par ces usines ainsi qu'il suit :

1° Pour 569,540 quintaux métriques de fer en grosses barres, fabriqué par le moyen de la fonte et du charbon de bois, à raison de 65 francs par quintal métrique (prix moyen), 37,020,100 fr.

2° Pour 110,392 quintaux métriques de fonte au charbon de bois, produite en France, quantité qui reste du produit total, après qu'on

A reporter 37,020,100 fr.

Report	37,020,100 fr.
en a soustrait la fonte obtenue par le moyen de la houille carbonisée, et que sur le reste on a prélevé ce qu'exige l'affinage tant au bois qu'à la houille, à 28 francs le quintal métrique (prix moyen),	3,090,976
3° Pour 53,000 quintaux métriques de fonte à la houille carbonisée, quantité qui, ainsi que la précédente, peut être considérée comme réservée sur le produit total, pour la fabrication de la fonte moulée, à 28 francs le quintal métrique (prix moyen),	1,484,000
4° Pour 442,000 quintaux métriques de fer affiné par le moyen de la houille, quantité que l'on peut considérer comme résultant exclusivement de 596,700 quintaux métriques de fonte au charbon de bois, qui, à 28 francs le quintal métrique, valent 16,707,600 francs, ci, à 58 francs par quintal métrique de fer (prix moyen),	25,636,000
5° Pour 93,470 quintaux métriques de fer obtenu des forges catalanes, à 65 francs le quintal métrique (prix moyen),	6.075,550
Total.	73,306,626 fr.

Ainsi un capital de 73 millions est annuellement créé sur le sol de la France dans ces mêmes usines à fer qui fournissent le travail à 70 mille ouvriers, et cela seulement pour la fabrication de la fonte et du fer en grosses barres, sans parler de l'industrie manufacturière qui s'applique ensuite à ces objets pour en augmenter la valeur.

A tous ces documents, tirés du rapport de M. Héron-de-Villefosse, il ajoute :

« Voici ce qui se prépare en France. On peut estimer « que 30 à 35 millions de francs, somme égale à celle des « capitaux déjà versés dans la fabrication du fer à la houille, « sont sur le point d'être engagés, et sont même déjà em- « ployés en partie dans cette fabrication de la fonte. Du « succès de ces grandes entreprises, succès qu'il est permis « d'espérer, il doit résulter, d'ici à quelques années, une « baisse dans le prix des bois, et par suite une baisse dans « le prix des fontes et fers fabriqués au charbon de bois; « mais ces entreprises ont besoin d'encouragements très « marqués, et de la protection spéciale du gouvernement. « Il importe de faciliter les moyens de transport aux mas- « ses énormes de matières qu'exigent de tels établissements. « *Il importe surtout d'affranchir ces matières des droits de « navigation qui pèsent sur le transport des minerais, de « la houille, en un mot, de tout le matériel des usines à « fer.* Le trésor sera amplement dédommagé de quelques « sacrifices pécuniaires par le développement d'une indus- « trie nouvelle.

« Si, au lieu d'employer ces moyens paisibles qu'indique « la nature des choses, on diminuait brusquement les droits « d'entrée sur les fontes et fers étrangers, dans l'espérance « de venir au secours des consommateurs de ce métal, on

« ruinerait les forges anciennes allant au bois; on ferait « avorter les établissements nouveaux d'usines à fer allant à « la houille, établissements qui n'ont pu s'élever que sur la « foi d'une loi existante, etc., etc., etc. »

L'ART
DU
MAITRE DE FORGES.

PREMIÈRE PARTIE.
EXAMEN
THÉORIQUE ET PRATIQUE DES SUBSTANCES
DONT ON OBTIENT LE FER.

TRAVAUX
DU LABORATOIRE.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

ORIGINE DE LA PRODUCTION DU FER.

Il serait sans doute d'un bien grand intérêt de connaître quelle a été la marche progressive de l'art de travailler le fer, et comment on est arrivé, à travers la succession des siècles, à l'état actuel des procédés généralement en usage; mais l'obscurité et les contracdictions qui frustrent à

cet égard notre curiosité ne sauraient avoir qu'une influence très bornée, ou dont au moins nous ne pouvons distinctement apercevoir les rapports avec l'art en lui-même. Au surplus ces questions d'antiquité, intrinséquement peu importantes peut-être, fussent-elles de nature à être éclaircies par le témoignage des auteurs, nous feraient dépasser les bornes que nous sommes forcé de nous prescrire. Nous ne considèrerons donc la métallurgie du fer qu'à dater d'Agricola, qui, dans son immortel ouvrage *De re metallica,* publié en 1556, a embrassé toutes les parties de l'art avec une sagacité, une profondeur de vues et une exactitude dont il est rare de trouver de semblables exemples.

Du temps de cet homme célèbre on employait pour traiter les minerais trois espèces de procédés différents, et l'emploi de chacun de ces procédés dépendait du plus ou moins de fusibilité des minerais. Les plus fusibles étaient traités d'une manière très analogue à celle pratiquée encore aujourd'hui dans les fourneaux dits à la catalane.

Les minerais moyennement fusibles étaient traités dans des fourneaux de trois pieds de haut et de cinq de large. Tout comme cela se pratique aujourd'hui, le minerai était jeté concurremment avec du charbon par le *gueulard,* et des charges successives remplaçaient le charbon brûlé et le minerai fondu qui s'était affaissé. La combustion était excitée par deux soufflets à main, mus à bras d'homme. Après douze heures d'une forte chaleur, on faisait couler le laitier, et on trouvait, au fond du fourneau, un culot ou masse de fer que l'on portait sous le marteau pour y être cinglé.

Pour les minerais encore plus difficiles à fon-

dre, on faisait usage du grillage. Ils étaient ensuite concassés, et on les traitait dans des fourneaux plus élevés, mais qui ne devaient guère, cependant, d'après les figures laissées par Agricola, excéder cinq à six pieds de haut. Quelquefois la fonte était immédiatement soumise au marteau, et d'autres fois on lui faisait, auparavant le martelage, subir une nouvelle fusion et une espèce d'affinage dans un autre fourneau.

Il fut un temps probablement où l'on n'employait pour la fonte du minerai que le bois en nature, et l'on voit que cette pratique est encore conservée de nos jours à Groningue dans l'Angermanie. Ensuite est venu l'usage du charbon de bois.

Quant à la houille, dont l'emploi est si utile et presque exclusif en Angleterre, et qui commence à se répandre en France et dans quelques autres pays, le premier usage n'en remonte pas à des temps bien reculés. Les difficultés qu'il a fallu vaincre à cet égard nous avertissent des avantages de la persévérance, et du danger qu'il y a toujours à se prononcer contre une découverte aussitôt que la première tentative d'application a échoué.

Oreilly nous a tracé en ces mots le récit historique de ce qui s'est passé en Angleterre.

« Vers le commencement du dix-septième siècle, M. Sturtevant inventa le procédé de la « fabrication du fer avec de la houille. Cette découverte parut tellement importante, que le « roi Jacques lui accorda un privilége exclusif « pendant trente-un ans, à condition qu'il publierait ses découvertes, ce qu'il fit dans son « *Metallica*. Cependant M. Sturtevant, n'ayant « pas réussi, fut obligé de rendre ses lettres de « monopole. M. Rovenson lui succéda; il obtint

« aussi une patente pour de nouveaux procé-
« dés ; il publia ses procédés dans son *Metal-*
« *lica*, en 1613. Plusieurs artistes, après lui, ob-
« tinrent aussi peu de succès ; et ce ne fut qu'en
« 1619 que Dudley a définitivement fixé l'époque
« à laquelle le procédé a réussi. C'est dans les
« forges de Worcester, à Persent, qu'il établit les
« premières forges où l'on ait fabriqué avec du
« *coke* (charbon de houille) ; et ce procédé a été
« jugé si important, que sa patente a été réduite
« de trente-un ans à quatorze. Ses succès effrayè-
« rent les autres fabricants. Ils se coalisèrent
« contre lui, et ameutèrent des ouvriers qui dé-
« truisirent de fond en comble tous ses ateliers et
« ses usines. Pendant le travail de Dudley, le ca-
« pitaine Buck, le major Wildman et autres, es-
« sayèrent de fabriquer de la fonte en construi-
« sant de vastes fourneaux à vent, munis de
« creusets comme ceux des verreries, et dans les-
« quels ils avaient introduit le mélange nécessaire
« de mine, de castine et de charbon. Ces four-
« neaux étaient chauffés avec de la houille, et
« on espérait qu'en perçant le fond des pots on
« pourrait faire couler la fonte ; mais ce procédé
« était impraticable. La chaleur n'était pas suffi-
« sante ; les pots ou creusets crevèrent, et l'entre-
« prise fut abandonnée.

« Les malheurs des guerres civiles, en détrui-
« sant les espérances futures de Dudley, firent
« tomber ses procédés dans l'oubli. Ce ne fut
« qu'en 1740 qu'ils reprirent. La découverte des
« pompes à vapeur et leur application aux usines,
« en affranchissant les fabrications des positions
« locales pour établir ces machines sur des cours
« d'eau, donna en même temps, si je peux m'ex-
« primer ainsi, l'élan à ce genre d'industrie. On

« se contenta d'abord d'augmenter la dimension « des hauts fourneaux et la quantité de vent, au « point d'obtenir de seize à vingt milliers de fonte « par semaine (c'est-à-dire de vingt à trente quin- « taux par jour); mais depuis on a travaillé con- « tinuellement aux moyens d'augmenter leurs « produits, jusqu'à ce qu'enfin ils soient parvenus « au point où ils sont aujourd'hui. Mais c'est sur- « tout depuis l'invention des machines soufflantes « et des caves à air que les fourneaux anglais pro- « duisent communément quatre-vingt milliers de « fonte par semaine (114 quintaux par jour). « Il y a même des forges dans la province de « Galles où l'on voit des hauts fourneaux qui pro- « duisent 140 à 144 milliers par semaine (200 à « 206 quintaux par jour). Que l'on compare main- « tenant cette quantité étonnante à celle qu'ob- « tenait le malheureux Dudley, qui se contentait « du dixième! »

L'art du fer s'est perfectionné dans les différents pays en raison directe de l'absence des autres ressources de l'industrie, et par conséquent de l'importance relative de cette fabrication. Aussi voyons-nous que dans la Suède, dénuée de beaucoup d'autres éléments de richesse que peuvent mettre à profit quelques nations de l'Europe, on a donné l'attention la plus soutenue et les encouragements les plus efficaces à cette branche de la prospérité publique. Depuis deux siècles elle est devenue l'objet de la sollicitude du gouvernement. Ce gouvernement a créé une administration chargée du soin exclusif de surveiller l'exploitation du fer; et des hommes distingués, placés à la tête de cet utile établissement, ont contribué avec un zèle bien digne d'éloges à la propagation des connaissances métallurgiques, tant par leurs

écrits que par leurs soins directs. Dans le nombre des excellents ouvrages publiés par les savants suédois, et auxquels nous avons emprunté plusieurs articles pour la rédaction de notre livre, on distingue l'excellent *Traité du fer, de Swedemborg;* l'*Histoire du fer, par Rinmann;* la *Construction des hauts fourneaux,* et la *Fonte des minerais de fer, par Garney:* ce dernier est principalement un modèle de méthode et de clarté.

Un règlement de Gustave, promulgué en 1604, connu sous le nom de *hosokoping,* a contribué efficacement au succès de la métallurgie suédoise, en favorisant l'entrée des mineurs étrangers dans le royaume.

Avant le *hosokoping,* les fourneaux suédois étaient très mal construits, peu solides; ils n'avaient que de 10 à 15 pieds de haut, et étaient dénués d'étalages. Le fond était tenu plus étroit au moyen du sable qu'on y faisait tomber, et qui formait une espèce de talus très gênant pour le mouvement intérieur des ringards. Les soufflets étaient en cuir et ne produisaient que très peu de vent. Rarement un fondage durait-il plus de six semaines: le moindre accident, à cause de la difficulté de toute manœuvre dans l'intérieur, forçait à *mettre hors.* Attirés par l'ordonnance de Gustave, un grand nombre d'ouvriers allemands se rendirent en Suède et y importèrent une meilleure méthode; ils augmentèrent la solidité des fourneaux, et y pratiquèrent des étalages, ainsi que des ouvertures à différentes hauteurs, ce qui permettait de faire couler le laitier et de ne laisser jamais la fonte que recouverte d'une mince épaisseur de verre terreux. Dès lors il fut possible de faire mouvoir des ringards dans l'intérieur des

fourneaux, et tout changea de face : les fondages furent portés jusqu'à vingt et trente semaines consécutives. On fit ensuite usage des soufflets de bois, qui produisirent un volume d'air beaucoup plus grand.

En 1650, Louis de Gier, établi en Suède, y fit venir de Liége et de Namur soixante-trois familles toutes composées d'ouvriers ; il en résulta un nouveau perfectionnement dans le travail du fer. Ces ouvriers wallons construisirent des fourneaux qui avaient jusqu'à vingt-sept pieds de hauteur ; les étalages étaient élevés à environ dix ou douze pieds du fond ; le laitier s'écoulait au-dessus de la dame : ce seul changement leur procura de la fonte grise ; auparavant l'on n'en obtenait pas du tout.

Pendant long-temps chaque fondeur fit usage de sa méthode particulière, soit allemande, ou wallonne, ou suédoise ; cependant la communication des ouvriers des trois nations produisit à la fin des perfectionnements communs à tous les fondeurs. Plus tard le collége royal des mines fit créer une *grande-maîtrise des hauts fourneaux*. Le célèbre Swan Rinman fut le premier *grand-maître*, et son administration a été signalée par les plus brillants résultats. C'est de l'époque de cet utile établissement que datent les perfectionnements réels et la grande supériorité des fers suédois.

Les Russes, voisins de la Suède, participèrent à quelques uns de ces perfectionnements autant que cela est possible en Russie. Les monts *Uraliens*, qui séparent la Sibérie de la Russie proprement dite, abondent en minerais de fer, les uns à l'état d'oxidule, tandis que d'autres constituent de puissantes mines d'aimant. Dans d'autres par-

ties le fer est à l'état d'hématite. Tous ces minerais produisent de 50 à 60 pour cent de fer. Depuis long-temps ils étaient exploités dans ces montagnes par les Permiens ou Barmiens, mais de la manière la plus misérable, dans de petits fourneaux. L'art y était absolument au maillot, quand le fameux Akimsi-Demidoff vint, en 1701, établir les célèbres forges de Newiamskoï. Une étendue de terrain de sept milles suédois en carré lui fut concédée pour favoriser son entreprise, par le czar Pierre Alexiowitz. Il obtint en outre d'immenses priviléges, tels que le droit d'asile assuré à tous les criminels qui viendraient se réfugier dans ses forges; affranchissement de tous droits, à la seule condition de livrer au souverain trois mille *pouds* de fer battu. (Voyez *Traité du fer*, de Swedemborg.)

Ces établissements ont marché depuis de perfectionnements en perfectionnements; les fourneaux y ont acquis une grande hauteur, et tout récemment on vient d'y introduire des machines soufflantes. Il est cependant à présumer qu'il reste encore beaucoup à faire pour régulariser le travail, si l'on doit tirer cette conclusion de l'énorme disparité qui existe dans les quantités de combustible consumées pour obtenir une même quantité de fonte dans les différents fourneaux. Dans quelques uns on brûle jusqu'à 370 parties de charbon, tandis que dans d'autres la consommation n'est que de 132 parties.

Le fer, dans ses minerais, est différemment traité, selon les difficultés que l'on éprouve pour le dégager des autres substances qui l'enveloppent. Dans les Pyrénées et en Corse, la méthode à la catalane, ou des bas fourneaux, est très avantageuse : on n'y brûle qu'à peine quatre par-

ties de charbon pour en obtenir une de bon fer. Cet exemple avait de l'attrait, et on crut mal à propos pouvoir obtenir des résultats semblables en employant la même méthode avec les oxides de fer en petits fragments détachés. Diétrich, *commissaire du roi à la visite des bouches à feu et des fontes du royaume de France,* a fait, bien en vain, dans les Pyrénées, un grand nombre d'expériences coûteuses. Par un effet de la plus inconcevable routine, on voit cependant encore dans plusieurs localités en France, notamment dans le département du Lot, des fondeurs qui se traînent dans l'ornière des antiques habitudes, et qui, pour vouloir persister dans un mode ruineux de fondage, brûlent jusqu'à 1400 parties de charbon pour obtenir 100 parties de fer forgé, tandis qu'il devrait leur sembler évident que les minerais qu'ils ont à leur disposition exigent un traitement dans les hauts fourneaux pour obtenir d'abord de la fonte qui serait affinée ensuite.

ORIGINE DE L'ACIER.

En ne considérant l'acier que comme un perfectionnement de l'art du fer, il semblerait que la connaissance de cet alliage ait dû n'être que postérieure à celle du métal pur. Il doit cependant en avoir été tout autrement : l'acier a sans doute été le premier fer venu à la connaissance des anciens, qui n'avaient d'autre méthode pour leur traitement métallurgique que celle des bas fourneaux. Or, dans ces bas fourneaux, tels que nos fourneaux à la catalane, ce que l'on obtient le plus facilement, c'est de l'acier naturel.

CARACTÈRES DISTINCTIFS DU FER (1).

Le fer est le plus abondant, le plus commun des métaux, et en même temps le plus difficile

(1) On voit que, dans l'énumération des caractères minéralogiques et physiques du fer, et dans l'exposé de ses propriétés chimiques, je n'ai eu en vue que ce qui a rapport à l'essai des minerais utiles et à l'extraction du métal. Une investigation plus étendue de ces matières restant étrangère à l'objet spécial de cet ouvrage, pour lequel il ne nous reste que la place strictement nécessaire, nous devons référer aux traités théoriques ou d'applications diverses les personnes qui désireraient une chimie du fer proprement dite. Nous ne considérons ici d'autres combinaisons, dont ce métal soit susceptible, que celles dont il s'agit de le dégager pour l'obtenir au degré de pureté convenable à son emploi dans les besoins les plus ordinaires de la vie : savoir, les constructions militaires et civiles, les machines, les vaisseaux, la confection des instruments aratoires, des outils de toute espèce et les ustensiles de l'économie domestique.

Nous devons même avouer que ce n'est qu'avec une certaine timidité, de l'hésitation, et même quelque répugnance, que nous avons reproduit un certain nombre de considérations sur l'état de combinaison chimique du fer dans ses minerais, ou tel qu'il s'offre au sortir des différents fournaux dans lesquels ces minerais sont traités pour en extraire le métal. Cette substance, la mieux connue peut-être de toutes celles de son ordre, sous le rapport de l'action qu'exercent sur elle, dans le laboratoire du chimiste, la plupart des agents que celui-ci tient à sa disposition comme instruments de composition et de décomposition, offre encore tant d'incertitude et d'obscurité, quand on vient à considérer ce qui se passe à son égard dans le haut fourneau et dans les affinages de la fonte, qu'au premier abord il semblerait plus convenable de s'occuper exclusivement des moyens pratiques d'exploitation, sans examen théorique des phénomènes, si cette marche, cependant un peu trop servilement dépendante de la routine, ne s'éloignait pas par trop

à extraire de ses combinaissons naturelles ou des substances avec lesquelles il se trouve simplement mélangé.

des idées de la philosophie des arts, qui dominent aujourd'hui toutes les recherches de l'intelligence. Sans doute il convient de ne pas abandonner le fil d'Ariadne, que généralement l'on suppose être offert dans toutes les questions par la chimie, si féconde en prévisions et surtout en explications; mais comment se défendre de quelque découragement, et de beaucoup de défiance surtout, quand on jette les yeux sur les raisons si disparates entre elles qu'ont tenté de donner de ces mêmes phénomènes des hommes également éminents dans la science?

Un des flambeaux de l'école chimique moderne, le savant Berzélius, vient de publier une Monographie chimique du fer. Des nouvelles vues, très plausibles, que renferme cet ouvrage, il semblerait qu'on serait fondé à conclure que dans la fonte de fer le métal se trouve allié à une ou plusieurs des substances métalloïdes de sir H. Davy, le silicium, le calcium, l'aluminium, etc., et que c'est de la combustion de ces bases pendant l'affinage que résulte la production des scories terreuses dont la vitrification se manifeste pendant cette opération. Mais cette découverte, très intéressante en elle-même, et par quelques résultats connus et par d'autres qu'on ne peut encore apprécier ni même prévoir, tout en introduisant d'ailleurs une beaucoup plus grande complication de la question, ne touche pas du tout à celle de la présence simultanée, et si difficilement explicable, de l'oxygène et du carbone en contact dans des fontes qui ont passé par une succession de températures les plus favorables à la combinaison du comburant et du combustible qui ont tant d'affinité l'un pour l'autre. Cherchera-t-on la raison de cette inertie dans la multiplicité même des éléments dont la fonte est composée, éléments dont la somme des affinités respectivement quiescentes deviendrait un obstacle à toute autre combinaison nouvelle : ce résultat serait analogue à ce que nous observons dans les tissus organiques végétaux ou animaux. Mais, outre que dans ceux-ci l'indestructibilité ne subsiste qu'à une basse température, nous demanderons, même en admettant l'analogie dans d'autres circonstances bien différentes, comment ce concours d'affinité entre l'oxygène, le fer, les bases métalloïdes et le carbone, vient à

Le minerai de fer le plus pur que l'on connaisse, celui dans lequel le métal est à l'état d'oxidule,

perdre toute sa puissance, si, après un premier refroidissement de la fonte dans laquelle ces éléments sont engagés, on en élève de nouveau la température avec le concours de l'air atmosphérique. Dans ce dernier cas, il ne tarde pas à se faire de nouvelles combinaisons : le carbone est brûlé et s'exhale à l'état d'acide ou d'oxide ; les métaux étrangers au fer se brûlent aussi ; il en résulte des terres qui se vitrifient en s'unissant, et le fer se dégage à l'état de pureté.

Pour preuve de la versatile mobilité et de l'insuffisance des théories concernant la fonte de fer, rappelons la doctrine naguère et généralement professée par les plus habiles métallurgistes. En résumé la voici :

« 1° La fonte blanche est composée de fer, d'oxygène, de « laitier et d'une infiniment petite quantité de carbone ; « c'est à cette absence presque totale du carbone que la fonte « blanche doit sa couleur et ses autres propriétés caractéris- « tiques.

« 2° La fonte grise est composée de fer, d'un peu d'oxy- « gène, de scories, et d'une *grande proportion de carbone*, « dont l'affluence, dans un état particulier de diffusion, « peut l'amener jusqu'à la couleur noire. »

Aujourd'hui, cependant, M. Karsten, célèbre métallurgiste allemand, qui a écrit une longue dissertation sur cette matière, déduit de ses nombreuses expériences, et affirme en toute confiance, « que ce qui distingue uniquement la « fonte blanche de la grise, c'est le mode de combinaison « du carbone avec le fer.» Suivant lui, «dans la fonte blan- « che, le carbone est tout entier uni au fer ; dans la fonte « grise, au contraire, il y en a une portion à l'état de « graphite. En fondant la fonte grise, le carbone rentre en « combinaison ; il y reste combiné par un prompt refroidis- « sement ; il se sépare en partie par un refroidissement « lent. *La fonte blanche très aigre et très lamelleuse con-* « *tient d'ailleurs un peu plus de charbon que la fonte* « *grise.* » Le baron Thénard, qui, dans la cinquième édition de son *Traité de chimie*, a ainsi résumé les assertions de M. Karsten, se contente d'ajouter : « Jusqu'ici « on avait cru le contraire. » Peut-être, pour croire, faut-il attendre un plus ample informé ; à peine d'avoir à croire de nouveau tout autre chose que ce que l'on aurait cru.

Parmi un grand nombre d'autres faits journellement ob-

exige un traitement métallurgique encore assez difficile et beaucoup plus long et plus pénible que celui de la plupart des autres métaux.

Le fer est de tous les métaux celui dont on fait le plus d'usage, et dans les circonstances les plus importantes de la vie. Il est l'instrument de tout bien, de tous les soulagements que la chirurgie offre à la triste humanité. Il en est souvent aussi, et bien plus souvent, hélas! le fléau: c'est l'arme du conquérant dévastateur; il aide à la déprédation, à l'esclavage des peuples, à la destruction des générations inoffensives. Il enchaîne le malheureux sur la paille humide de son cachot.

Plus constamment innocent dans les transformations chimiques qu'il est susceptible d'éprou-

servés, nous en citerons un seulement qui a du rapport à ce que nous venons de dire du vague et de l'insuffisance des spéculations théoriques dans le travail du fer.

Dans les opérations du puddlage et de l'étirage du fer aux forges à l'anglaise, nous avons à chaque instant un exemple du mauvais effet que produit l'emploi de certaines matières provenant de vieux ustensiles qui ont été plusieurs fois exposés à l'action du feu, tels que les vieilles poêles, chaudières, marmites, etc. On n'en peut presque plus rien faire qui vaille: c'est ce que les ouvriers appellent, en se fondant je ne sais sur quoi, de la fonte brûlée. Que s'est-il passé à l'égard de cette fonte? A-t-elle été oxidée ou décarbonée? Mais, de quelque manière que ma question soit résolue, je ne vois pas qu'on ait pour cela l'explication de la non-valeur presque absolue de cette fonte. Le fait de la détérioration est certain: il reste à en connaître la cause.

Quoi qu'il en soit donc, j'expose, en historien, les idées reçues sur l'état de composition des fontes, et sur ce qui se passe à leur égard dans les hauts fourneaux et les feux d'affinerie; mais je me défends de tout système, et je me hâte de quitter le champ des dissertations pour passer sur celui des procédés d'exploitations sanctionnés par des succès avérés.

ver, le fer n'offre plus alors que des bienfaits à l'humanité. Plusieurs des préparations qu'on en fait sont des médicaments presque aussi salutaires que ceux tirés d'autres métaux ; mais comme eux il ne peut devenir poison à aucune dose.

On a fait voir que le fer, convenablement travaillé, peut surpasser en valeur tous les autres métaux. Réduit en fil, la valeur de ce fil peut centupler celle du fer brut. Employé dans le mécanisme d'une montre, il augmente de plus de 70 mille fois sa valeur ; et enfin dans la composition des chefs-d'œuvre des arts, il devient inappréciable.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

1° La couleur du fer est toute particulière. Elle est très bien caractérisée à la mémoire de tout le monde sous le nom de *gris de fer*. C'est une modification du faisceau lumineux qu'il est très difficile de produire artificiellement. Aussi ne voyons-nous pas qu'aucun peintre ait complétement réussi à rendre l'aspect du fer. Nous parlons ici du fer à l'état de pureté parfaite ; mais la couleur peut varier du blanc au noir, relativement aux divers états sous lesquels le métal s'obtient.

2° La cassure du fer offre à l'œil des grains, ou des lames, ou des fibres, qui ont aussi leur couleur particulière.

3° La densité du fer est entre 6,300 et 8,000, celle de l'eau étant 1,000.

4° La dureté du fer est très variable. Quelques fers sont assez durs pour rayer le verre, tandis qu'il en est qui plient et s'émoussent même sur le

cuivre. Cette dureté peut d'ailleurs varier dans la même espèce de fer. Il y en a dont la dureté croît ou décroît selon qu'on les fait refroidir plus ou moins rapidement après avoir été fortement chauffés.

5° Le fer jouit d'une atmosphère particulière ; c'est-à-dire que, par le frottement, il émet une odeur qui ne peut être confondue avec aucune autre, et les mains qui ont touché le fer restent assez long-temps imprégnées de cette odeur.

6° Sa saveur est très prononcée ; elle est âcre et astringente. Quelques métallurgistes, entre autres Grignon, ont prétendu pouvoir porter un premier jugement sur la qualité des fers, au moyen de leur saveur ; mais cela n'est pas confirmé.

7° Plusieurs sortes de fers sont malléables, et s'étendent sous le marteau très facilement, soit à chaud, soit à froid, et on en peut former des lames extrêmement minces.

8° Le fer est excellent conducteur du calorique. Il s'échauffe rapidement en se dilatant. Cette augmentation de volume entre les limites de la glace fondante et de l'eau bouillante est de 15 à 25 millièmes du volume total, suivant la nature des fers.

9° Le fer, en s'échauffant, s'amollit, et finit par fondre. La température nécessaire pour cette fusion varie avec l'état de pureté plus ou moins grande du fer. Plus il est pur et plus difficilement il peut être fondu. Les limites sont entre 120 et 150 degrés du pyromètre de Wedgwood.

Plusieurs physiciens ont considéré le fer absolument pur comme infusible à la température de nos fourneaux, et ceux-ci attribuent la fusibilité, qui selon eux ne lui est pas inhérente, soit à

l'oxygène, soit au carbone, qui s'y combinent dans l'opération de la fonte. Mais des expériences exactes, faites dans des creusets d'argile, et dans lesquelles le fer a été complétement fondu, ont fait douter de la justesse de cette vue. Il reste cependant encore à apprécier dans ce cas quelle a pu être l'influence du creuset terreux. Celui-ci n'a-t-il pas pu fournir de l'oxygène aux dépens de ses éléments? Au surplus, en suivant le cours de ces idées, qui d'ailleurs sortent de nos limites, on pourrait douter de la fusibilité *sui generis* de tous les métaux.

Le fer, en s'échauffant, s'allonge, rougit, devient pâteux et mou; ensuite il se liquéfie. Cette succession de phénomènes est assez analogue à ceux qui ont lieu dans la fusion de la cire.

Le fer, après avoir été fondu, étant coulé, lance des étincelles vives et brillantes.

10° Après avoir été amené à une fusion parfaite, par l'effet d'une nouvelle élévation de la température, le fer est susceptible d'être vaporisé. Le fer ainsi vaporisé produit un nuage très rare, de couleur rougeâtre, que l'on voit peu à peu se dissoudre dans l'air et disparaître.

11° Le fer pur se comprime par le choc du marteau, et il en résulte une élévation de la température. M. de Prony a annoncé à l'Institut qu'un fil de fer soumis à une forte traction laisse juger de la place où la rupture est prête d'avoir lieu par la forte et rapide élévation de la température sur ce point.

12° La capacité du fer pour le calorique est, d'après Crawford, de 107, celle de l'eau étant 1,000.

13° Le fer n'est pas moins bon conducteur d'électricité.

14° C'est, de tous les phénomènes dont la cause reste enveloppée d'obscurité, la vertu magnétique qui caractérise le plus conspicueusement le fer. Il jouit de cette propriété au plus haut degré, et le petit nombre de métaux jusqu'ici connus pour la partager avec lui n'en sont doués que d'une manière incomparablement plus faible.

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES.

Le fer se combine avec le carbone, le soufre et le phosphore. 1° Avec le carbone, il produit la combinaison connue sous le nom vulgaire de plombagine ou crayon noir (graphite de Werner, fer carburé d'Haüy). Le fer y est au carbone, d'après les meilleures analyses, dans le rapport de charbon :: 9 : 1 de fer. Néanmoins toutes les combinaisons artificielles qu'on a tentées jusqu'ici du charbon avec le fer n'ont pu produire un graphite entièrement semblable à celui qu'on trouve dans la nature. Proust, à la vue de cette difficulté, et considérant d'ailleurs que souvent l'on peut distinguer, dans la cassure de plusieurs sortes de fer, des écailles de graphite séparées des particules de métal, s'était persuadé que, dans la fabrication du carbure artificiel, il s'en produit réellement une partie en tout semblable au graphite, qui se dissout ensuite ou se mélange intimement avec le fer : d'où résulte que le carbure artificiel contient moins de carbone que le graphite (1).

(1) Si les vues de M. Karsten sur la nature des fontes sont reconnues exactes, nous aimerons à penser que l'idée première appartient à un Français. La théorie de M. Kars-

En soumettant à l'action des acides le fer carburé, on peut observer qu'il n'y a de dissous que le fer; le graphite, resté indécomposé, s'en sépare. La fusion, seule, peut même en séparer le graphite. Lorsque le métal en contient une très grande proportion, on voit le carbure de fer se séparer, si le refroidissement est lent; plus léger que la fonte, il se porte à sa surface, et elle en est recouverte; cette espèce d'écume est noire,

ten n'est que le développement de celle proposée par Proust. (Voyez *Journal de physique*, t. 2, année 1806.)

Voici en résumé, et d'après le baron Thénard, 5e édition de son *Traité de chimie*, les conclusions que M. Karsten a tirées de son important travail :

« 1° Que la fonte blanche et l'acier trempé contiennent le carbone combiné avec toute la masse du fer;

« 2° Que la fonte blanche lamelleuse présente une combinaison parfaite du fer avec le carbone, et qu'elle est toujours plus riche en carbone que la grise;

« 3° Que le fer et l'acier non trempé contiennent le carbone à l'état de carbure (polycarbure);

« 4° Que la fonte grise froide contient la majeure partie de son carbone à l'état de graphite et de mélange; que ce graphite ne renferme point de fer, et qu'il constitue le carbone dans toute sa pureté;

« 5° Que le reste du carbone renfermé dans la fonte grise peut s'y trouver, ou combiné avec toute la masse, ou formant un carbure à proportions définies, et qui est dissous ensuite dans le métal, comme il l'est dans le fer ductile et dans l'acier;

« 6° Que tous les fers carburés, considérés à l'état liquide, contiennent le carbone dissous dans la masse du métal, sans proportions définies;

« 7° Enfin que le graphite se sépare du métal au moment de sa congélation, et que les autres carbures de fer, s'il en existe plusieurs, se forment plus tard.

« D'après les résultats auxquels est parvenu M. Karsten, en mettant la fonte blanche, transformée d'abord en fonte grise, et la fonte grise elle-même, en contact à froid pendant dix à douze jours avec le chlorure d'argent, beaucoup d'eau

écailleuse, s'attache aux doigts et les enduit d'une crasse grise très foncée. On a vu des dépôts considérables de graphite dans l'intérieur des hauts fourneaux; Monge a trouvé dans un vieux fourneau en démolition dans le voisinage du Creusot, près Mont-Cenis, une masse de graphite : c'est

et un peu d'acide hydroclorique, etc., etc., ces deux fontes contiendraient les quantités de carbone suivantes.

« Fonte blanche transformée en fonte grise, en la fondant et la laissant refroidir tranquillement, savoir :

	CARBONE combiné.	CARBONE libre.	TOTAL du carbone.
Dans le noir de fumée.	0.60	4.62	5.22
Dans un creuset de graphite.	0.61	4.29	5.10
Dans un creuset d'argile.	1.00	4.05	5.05
Fonte grise tirée des forges de Sayner, près de Coblentz, d'un fourneau à charbon de bois, et provenant d'oxides bruns.	0.89	3.71	4.60
Fonte grise tirée des forges de Widerstein (Siegen), d'un fourneau au charbon de bois alimenté par un mélange d'oxides bruns et fer spathique.	1.03	3.62	4.65
Fonte grise provenant des forges de Malapane (Haute-Silésie), d'un fourneau à charbon de bois.	0 75	3.15	3 90
Fonte grise des forges dites Kœnegshute, d'un fourneau au coke, alimenté par des minerais ocreux et oxides bruns.	0 58	2.57	3.15
Fonte grise provenant du même fourneau, lorsqu'il y régnait une moindre chaleur.	0.95	2.70	3.65

(*Baron* THÉNARD, *Traité de Chimie*, 5e *édition.*)

cette espèce de despumation que les fondeurs anglais appellent *kish*, et la fonte qui en est le résidu, et à laquelle ils trouvent des propriétés particulières, a reçu chez eux l'épithète de *kishy*.

2° Avec le soufre, le fer entre en combinaison intime et il se forme un sulfure métallique.

Si l'on mêle ensemble deux parties de soufre et une de fer, et que ce mélange soit placé dans un creuset chauffé au rouge, on obtient une masse fondue de sulfure de fer du poids d'environ 160 par 100 de fer mises en expérience.

Si le vase est clos, quelle que soit la durée de cette combinaison, à un feu violent, les proportions respectives de fer et de soufre resteront les mêmes dans la masse; mais si ce sulfure est chauffé avec le contact de l'air, il se formera de l'acide sulfureux à ses dépens; cet acide ce dégagera en se volatilisant, et l'on aura pour résultat un oxidule de fer.

Il se rencontre des sulfures de fer tout formés dans la nature: ils sont connus sous le nom de pyrites ou fer sulfuré. D'après plusieurs analyses qu'en a faites et publiées l'ingénieur des mines Guéniveau, ils seraient en général composés de 0.55 soufre et 0.45 fer. (*Voyez* Journal des mines, n° 12.) Ces sortes de sulfures, étant exposés à la chaleur dans des vaisseaux clos, perdent une partie de leur soufre par la vaporisation; cette partie est variable. Suivant Proust le fer est susceptible d'une proto-sulfuration et d'une persulfuration. Dans le premier état il reste combiné à 60 de soufre, et à 90 dans le bisulfure.

Il paraît constant que les deux sortes de sulfure existent dans la nature, l'un tenant 0.625 de fer et 0.375 de soufre, et l'autre 0.450 de fer et 0.550 de soufre. La variation observée dans quelques

pyrites, par rapport aux quantités de soufre, a été jusqu'ici attribuée à une combinaison des deux sulfures types de l'union chimique.

3° Le fer se combine aussi très facilement avec le phosphore.

Le phosphure de fer exposé au feu de coupelle se brûle, et laisse un oxide de fer.

Il se rencontre dans plusieurs minerais du phosphate de fer.

4° Le fer s'allie plus ou moins facilement à divers autres métaux; il en résulte des alliages plus ou moins homogènes, et qui, suivant les circonstances dans lesquelles ils ont été formés, offrent des caractères très divers, intéressants à connaître pour beaucoup d'arts, mais qui n'ont pas d'application directe à l'objet de cet ouvrage.

De l'action du fer sur l'oxygène.

5° Le fer s'unit facilement à l'oyxgène, et dans des circonstances très variées. Ce genre de combinaison appelle davantage notre attention, parce que, dans le traitement des minerais pour en extraire le fer à l'état de régule, il ne s'agit le plus souvent que de le dégager de cette espèce de composé.

Un morceau de fer chauffé dans l'air atmosphérique s'oxide à la surface. L'épaisseur de la couche d'oxide est d'autant plus forte que le fer rougi est resté plus long-temps exposé à l'action de l'air. L'oxidation du fer chauffé, en contact avec l'air, s'observe principalement sur les barres que l'on forge : les écailles qui tombent à chaque instant ne sont que de l'oxide de fer; on les connaît sous le nom de *battitures*. On doit encore

considérer comme fer oxidé les écailles de fer qui tombent du laminoir entre lequel on presse le fer chauffé au rouge. A ces oxides il se combine, dans plusieurs circonstances, de l'acide carbonique, qui en altère matériellement les propriétés.

Il y a peu d'accord entre les auteurs sur la nature des oxides de fer, pour ce qui est des proportions de l'oxygène : les uns ont pensé qu'il n'existe que deux sortes d'oxides de ce métal, l'un au minimum et l'autre au maximum ; d'autres ont cru voir un oxide intermédiaire ; d'autres enfin admettent que le fer peut se combiner avec l'oxygène en une foule de proportions différentes, comprises entre de certaines limites.

Nous ne pouvons discuter ici ces opinions ; mais nous admettrons la plus probable, celle de trois oxides différents : 1° l'un au minimum, *blanc*, contenant sur 1,000 parties 225 oxygène et 775 fer ; 2° un *noir*, contenant sur 100 parties 24 oxygène et 76 fer ; 3° un au maximum, *rouge*, contenant 31 oxygène et 69 fer. Il faudra, d'après cela, considérer toutes les compositions de minerais qui offrent des proportions d'oxygène qui s'écartent de celles-ci comme résultantes de mélanges ou de combinaisons des trois oxides types.

Il est certain du moins que, dans toutes les opérations, auxquelles le fer peut être soumis, il se fait une telle répartition de l'oxygène, que l'on peut toujours isoler les oxides dans un ou plusieurs des trois états que nous venons d'indiquer, l'oxide *blanc*, le *noir* et le *rouge*.

DES DIFFÉRENCES ENTRE LES FERS.

Dans le commerce, dans les arts, on distingue trois espèces principales de fer, qui se sous-divisent en un grand nombre de variétés. Ces trois espèces principales ont des caractères très prononcés, des propriétés bien tranchées:

1° Le fer dur et cassant.

2° Le fer malléable et mou.

3° Le malléable et élastique.

Le fer de la première espèce reçoit encore les noms de *régule, fonte, fer cru, fer fondu, fer de gueuse;*

Celui de la seconde, les noms de *fer, fer battu, fer forgé, fer ductile, fer en barre*;

Celui de la troisième s'appelle *acier :* celui-ci est une vraie combinaison.

Pendant bien long-temps on a reconnu les propriétés distinctes de ces trois espèces de fer, sans apprécier les causes de leurs différences. Ce n'est que dans le dernier siècle que notre compatriote l'ingénieux et laborieux *Réaumur* en France, et les célèbres *Rinmann* et *Bergmann*, en Suède, ont envisagé la question avec quelques succès.

Nous sommes forcé d'omettre non seulement les détails historiques, mais même ceux des travaux faits pour l'analyse des différents fers; nous ne pouvons consigner ici que des résultats.

Bergmann, ayant soumis à l'analyse un très grand nombre d'échantillons de fer d'espèces et de variétés différentes, trouva qu'ils laissaient tous un résidu noir, insoluble, dans la proportion de 0.020 à 0.067 dans le fer cru, de 0.005 à 0.017 dans l'acier, et de 0.001 à 0.005 dans le fer ductile.

Il exposa à l'action du feu une quantité assez considérable de chacun de ces résidus : il trouva qu'ils contenaient environ la moitié de leur poids d'une matière terreuse, silicée, ferreuse, et que l'autre moitié s'était vaporisée. De leur côté, les académiciens français Vandermonde, Monge et Berthollet, qui s'étaient occupés du même objet, ayant recueilli, au moyen d'un appareil approprié, la vapeur de cette matière noire, remarquèrent que c'était de l'acide carbonique : ils en conclurent aussitôt que la matière noire était composée en grande partie de carbone ; et, combinant cette donnée avec le travail de Bergmann, ils jugèrent que le fer cru, l'acier et le fer ductile, sont tous trois composés, en proportions variables, de fer, carbone et matières terreuses.

Bergmann trouvait que le charbon et la terre silicée qui composent la matière noire que l'on voit dans la fonte, le fer et l'acier, y sont dans une proportion égale. Cependant il est des matières noires, celles, par exemple, que l'on retire du fer et de l'acier, qui ne contiennent pas sensiblement de silice.

On peut considérer le résidu noir de la fonte comme composé de fer, de charbon et de laitier, celui de l'acier comme composé de fer et de charbon. D'après les expériences de Bergmann, il faudrait admettre la composition des trois espèces de fer comme suit :

	Fer cru ou fonte.	Acier.	Fer ductile.
Fer.	0.956	0.988	0.997
Charbon.	0.022	0.012	0.004
Matière siliceuse.	0.022	0.000	0.000

Mais si, comme tout porte à le croire, c'est seulement le métal de la silice (*silicium*) qui se trouve allié au fer, si la silice qu'on en sépare est toujours le résultat d'une oxidation de cette base dans l'opération du part, ainsi que le suppose M. Berzelius, les rapports de proportions ne sont plus exactement tels que les annonçait le célèbre Bergmann.

Il dit avoir trouvé dans ses fers jusqu'à 0.30 de manganèse. Mais ces résultats sont loin d'avoir été confirmés par les analyses subséquentes d'autres chimistes.

L'existence de l'oxygène dans le fer cru est, dit-on, démontrée par la fusion d'une fonte un peu grise dans un creuset fermé. Après avoir laissé pendant quelque temps le fer fondu en bain, et l'avoir fait refroidir lentement, on remarque que sa couleur est devenue plus claire, plus blanche, tandis que l'acier soumis à cette épreuve n'éprouve pas d'altération. Mais dans l'hypothèse de M. Karsten, ce phénomène indiquerait toute autre chose que la présence de l'oxygène dans la fonte grise : ce ne serait plus que la répartition plus générale et plus égale du carbone dans la masse du fer.

Cependant une autre preuve, que le système de M. Karsten ne tendrait pas à infirmer, c'est celle qui résulte de l'effervescence qui se manifeste lorsque l'on fond de nouveau de la fonte blanche dans un creuset recouvert de scories liquides : les verres terreux dont sont composées ces scories se gonflent ; il y a des boursouflures à leur surface ; on distingue clairement le dégagement du gaz acide carbonique ou de l'oxide de carbone formé par la combinaison de l'oxygène avec ce combustible, d'où naissent les bules que l'on observe

L'oxygène et le carbone ne sont pas absolument nécessaires pour déterminer la bonté du fer. Sans doute, pour un grand nombre d'usages, et partout où l'on n'a pas besoin de fer dur, il serait à désirer de l'obtenir parfaitement pur; mais dans les travaux en grand, cela serait fort difficile, et le bas prix auquel ce métal doit être livré dans le commerce n'en permet pas la purification complète.

La densité moyenne des trois espèces de fer a été indiquée par Rinmann comme suit : celle de fer cru 7,281, celle de l'acier 7,795, et celle du fer ductile 7,700.

La fusibilité de la fonte, toujours plus grande que celle des deux autres espèces de fer, est en raison directe de la quantité qu'elle contient de substances étrangères à ce métal. L'acier est moins difficilement fusible que le fer malléable.

L'extension des trois espèces de fer, en passant de 12 degrés de Réaumur au rouge blanc, est, toujours d'après Rinmann, comme suit : fer cru 0.02143, acier 0.02857, fer ductile 0.01250.

Suivant Deluc, le fer, en passant de 0 à 80 degrés, s'étend de 0.001258.

De la fonte ou fer cru.

Les propriétés les plus saillantes de la fonte sont la dureté, la fragilité, une cassure lamelleuse ou à grains plus ou moins gros, et quelquefois une apparence de crystallisation régulière. La couleur de la cassure est très variable; tantôt elle est blanche, et tantôt d'un gris très foncé; il existe même quelques fontes dont la cassure est noire. La fonte ne se forge ni à froid ni à chaud.

Il y a des fontes qui sont aussi susceptibles que l'acier de former de bons aimants artificiels.

M. Ramus, ancien directeur de l'établissement du Creusot, a fait, sur la résistance du fer cru, des expériences que Gazeran a publiées dans le 7e volume des *Annales de chimie*.

Pour ces expériences, faites sur des barreaux d'un pied et demi de long et de trois pouces d'épaisseur, on avait placé une masse de fonte de neuf pouces de long, ayant un vide intérieur de cinq pouces de long et quatre pouces de large, dans une entaille faite dans un mur; on avait mis dans cette masse deux petits couteaux; à six pouces de distance, le morceau de fonte était posé sur leurs biseaux.

Sur le bord extérieur du barreau de fonte était fixé un levier pesant 212 livres, et long de 6 pieds 6 pouces. A l'extrémité de ce levier il y avait un plateau de balance dans lequel on plaçait des poids jusqu'à rupture du barreau.

TABLEAU *des poids employés pour rompre les différents barreaux de fonte.*

Nos des expériences.	Espèces de fonte.		Poids pour rompre.
1	Blanche provenant d'un canon qui avait crevé.	Obtenues du traitement des minerais avec du charbon de houille dans un haut fourneau.	1162
2	Blanche, *idem.*		1096
3	Grise d'un haut fourneau du Creusot.		1605
4	*Idem.*		1828
5	*Idem.*		2008
6	*Idem.*		1771
7	*Idem.*		1721
8	*Idem.*		1806
9	*Idem.*		1632
10	*Idem.*		1468
11	Blanche du même fourneau, lorsqu'il était dérangé.		1028
12	Grise-blanchâtre, la tuyère étant obscure.		1405
13	Grise, n° 8, rompue à 1806.	Fonte fondue de nouveau avec de la houille dans un fourneau à réverbère.	2025
14	— du Périgord, fondue au charbon de bois.		1416
15	— de Franche-Comté, *idem.*		1655
16	— anglaise.		1378
17	— moité Creusot et moitié Franche-Comté.		1579
18	— *idem.*		1762
19	— deux parties Creusot, une Franche-Comté.		1954
20	— trois parties Creusot, une Franche-Comté.		1687
21	— avec laquelle on a coulé des canons au Creusot.		2192
22	*Idem.*		2343
23	*Idem.*		1954
24	*Idem.*		1528
25	*Idem.*		1478
26	*Idem.*		1428
27	*Idem.*		1395

Toutes ces expériences semblent indiquer :

1° Que la fonte grise est généralement plus résistante que la blanche ;

2° Que le même fourneau produit des fontes dont les résistances sont très variables, puisque celles obtenues au Creusot ont exigé pour leur rupture des poids qui ont été depuis 1,008 jusqu'à 2,008 ;

3° Que les fontes sont moins résistantes quand le fourneau se dérange.

4° Que la fonte grise augmente de tenacité quand on la fond de nouveau au fourneau de reverbère : ce dernier résultat pouvait être prévu, car dans ce cas la fonte, en s'affinant, se rapproche d'autant du fer ductile.

Outre le carbone et l'oxygène qui semblent faire partie de toutes les fontes, il peut s'y trouver accidentellement plusieurs autres substances.

D'après une analyse communiquée à l'Institut en l'an 1806, on voit que M. Vauquelin a trouvé que les fontes de quelques hauts fourneaux de la Bourgogne et de la Franche-Comté, tels que Drambon, Chamfort, Gros-Bois, Pesmes, contiennent du fer, du manganèse, du phospore, du chrome, de la silice, de l'alumine, de la chaux et de la magnésie.

Le poids des fontes présente de grandes différences, qui semblent dépendre principalement de la nature des minerais d'où elles ont été extraites, et de la marche du fourneau dans lequel ils ont été fondus, car, d'après Tiemann, la pesanteur spécifique des fontes grises est :

Fonte grise provenant des minerais calcaires,	7.670
Fonte grise provenant des minerais argilleux,	7.050
Fonte grise provenant des minerais marécageux,	6.800

De la fonte blanche.

Elle est composée de fer, d'oxygène, de laitier, et d'une petite quantité de carbone, qui passe rarement un centième (*fait contredit par Karsten*). Elle peut d'ailleurs, ainsi que nous l'avons dit plus haut, contenir accidentellement du phosphore, du soufre, du manganèse, du cuivre, du chrome, ou d'autres substances nuisibles à la qualité du fer.

Jusqu'ici on avait attribué la couleur blanche de cette fonte à l'absence presque totale du carbone. Quelques auteurs avaient cependant avancé qu'elle était due au manganèse. On avait été jusqu'à dire que le minerai manganésifère ne donne jamais de fonte grise; mais c'était une erreur: car dans les départements de l'Isère, dans le ci-devant département du Mont-Blanc, dans la Styrie, la Carinthie, le Tyrol, etc., où l'on traite presque exclusivement des minerais spathiques manganésifères, on obtient indistinctement des fontes grises et des fontes blanches, et cela relativement à la proportion de charbon que l'on emploie, dernier fait qu'on ne peut guère concilier avec l'hypothèse de M. Karsten. L'analyse a d'ailleurs fait voir que plusieurs fontes blanches ne contenaient que 0.015 de manganèse, tandis que d'autres fontes, très grises, en contenaient jusqu'à 0.018.

Le plus ou moins de lenteur du refroidissement de la fonte contribue aussi, et incontestablement, à son plus ou moins de blancheur. Guyton-Morveau, qui a répété avec le plus grand soin toutes les expériences annoncées à cet égard par Courti-

vron, Jars, Duhamel et Rinmann, s'est positivement assuré que la fonte blanche refroidie avec une extrême lenteur prend un peu de gris, et qu'au contraire la fonte grise refroidie brusquement passe au blanc. Aussi voit-on des plaques de fonte coulées sur sable offrir les trois nuances dans leur cassure : elles sont blanches à la surface supérieure, qui a été atteinte par l'air froid, truitées au centre, et grises à la surface inférieure, qui touche immédiatement le sable et ne se refroidit qu'avec lenteur.

La fonte blanche est très fragile, dure; elle résiste à l'action de la lime et du ciseau; sa cassure est striée ou lamelleuse; assez fréquemment les lames sont grandes; sa densité varie entre 6,500 et 7,600. La proportion d'hydrogène qu'on a obtenue de cette fonte en la traitant par l'acide sulfurique a varié entre 59.48 mesures et 66.31; ce qui porterait la proportion d'oxygène dans ces sortes de fontes entre 0.055 et 0.065 (en supposant qu'elles ne continssent pas plus de charbon que le fer de Suède) (1).

La fonte blanche peut se diviser en trois gran-

(1) Les proportions moyennes de gaz hydrogène obtenues de la dissolution des différents fers dans les acides muriatique et sulfurique étendus d'eau sont, d'après Vandermonde, Monge et Berthollet, pour la fonte, 67 mesures d'une once d'eau, obtenues de 100 grains de fer cru, pour l'acier 74, et pour le fer ductile 76. (La proportion dans la fonte est une moyenne entre douze expériences, celle de l'acier entre quatre, et celle du fer ductile entre cinq.) Mais, d'après Bergmann, les proportions sont, pour la fonte, 40 pouces cubes suédois, pour 100 livres docimastiques suédoises, pour l'acier 48, et pour le fer 50.

Cette différence entre les proportions du gaz hydrogène développé, qui est beaucoup plus forte que celle qui devrait résulter des diverses proportions de fer contenu dans chaque variété, provient, d'après les académiciens fran-

des classes, qui chacune fournissent des sortes et des variétés.

1° Le *blanc mat*. Ce fer cru est très fragile; son grain est fin; sa couleur tire un peu sur le jaune; étant fondu, il coule avec beaucoup de facilité; son mouvement, dans l'état de fusion, est onduleux et produit un léger murmure. Cette fonte se refroidit rapidement, et augmente de volume en se refroidissant. Souvent on peut observer à sa surface de petits trous dont elle est parsemée, et qui n'en permettent guère l'emploi pour les objets coulés en moules. La lime et le ciseau entament un peu cette fonte, qui s'oxide rapidement au plus léger contact avec l'oxygène. Si pendant qu'on la coule elle lance des étincelles, on peut compter quelle sera cassante à chaud.

2° *Blanc vif*. Cette fonte est excessivement

cais cités, de deux causes : 1° de l'oxygène resté dans la fonte; 2° du carbone dissous par le gaz hydrogène, qui se contracte et devient plus dense. On reconnaît et on retrouve ce carbone dissous, en brûlant le gaz hydrogène avec du gaz oxygène dans l'eudiomètre de Volta, et cela par la quantité plus ou moins grande d'acide carbonique produite par cette combustion. Celle du gaz hydrogène pur ne produit que de l'eau; tandis que le gaz obtenu par la dissolution des fontes grises donne en général plus d'acide carbonique dans sa combustion que celui qu'on obtient de l'acier, qui à son tour produit plus de gaz acide carbonique que le gaz hydrogène obtenu par le fer ductile. Déjà ce phénomène avait été observé par Rinman.

Il est au surplus assez difficile, en général, de déterminer la proportion d'oxygène que les fontes retiennent; on n'a pas d'ailleurs jusqu'ici dirigé les analyses vers cet objet. Ce que les chimistes et les docimasistes qui se sont occupés de l'analyse des fers ont eu principalement en vue a été de déterminer les quantités de carbone, de laitier et d'autres substances qui peuvent être séparées, à l'aide des agents chimiques; et on a mal à propos considéré comme fer pondérable tout ce qui manquait au poids des substances retirées, pour recomposer le poids primitif des échantillons analysés.

dure, aigre et très cassante; sa cassure est lamelleuse, très souvent formée de grandes lames spéculaires; quelquefois aussi elle est striée, rayonnante. Ce fer cru est si dur, que ni la lime ni le ciseau ne peuvent en détacher aucune parcelle.

3° *Blanc argenté.* Cette fonte est moins dure que la précédente; sa cassure est fine, compacte, assez plane; sa couleur est moins vive; elle tire sur le bleuâtre.

De la fonte grise.

Elle est composée de fer, de carbone, de scories, et d'un peu d'oxygène; elle contient quelquefois, mais accidentellement, du phosphore, du soufre, du cuivre et autres métaux. On a toujours cru que sa couleur est due à la grande quantité de carbone qui s'y trouve. Dans quelques fontes grises, cette quantité a été trouvée de 0.035. Lorsqu'on la fait dissoudre dans l'acide muriatique, il s'en exhale un gaz hydrogéné d'une odeur forte et toute particulière, qui, par sa combustion dans le gaz oxygène, produit de l'eau mêlée d'acide carbonique. Souvent même, d'après Vauquelin, il se forme de l'huile pendant la dissolution de cette variété de fonte dans l'acide muriatique. Les proportions de gaz hydrogène que les académiciens français ont obtenues de la dissolution de ce fer cru ont varié entre 67.5 (mesure d'une once d'eau) et 75.5, ce qui tend à prouver la présence de l'oxygène dans la fonte grise.

La fonte grise est un peu moins fusible que la fonte blanche; elle est ordinairement beaucoup plus douce, et susceptible d'être travaillée à la lime et au ciseau comme le fer. Cette fonte est presque ductile; elle supporte pendant long-temps les coups de marteau avant de rompre. Sa cassure est grenue, et sa couleur passe du gris au noir.

Lorsque l'on coule de la fonte très grise, sa surface, qui refroidit plus rapidement que l'intérieur, se couvre de graphite qui tache les doigts. Cette variété de fonte reste long-temps à l'état de liquidité; son refroidissement est lent. Elle se moule assez bien. Sa densité varie entre 6,800 et 7,700.

Tout comme la fonte blanche, la fonte grise peut aussi être divisée en trois grandes classes ou sortes, susceptibles elles-mêmes de sous-divisions.

1° Fonte d'un *gris clair*. La cassure de celle-ci est compacte et à grains fins; son nom indique la nuance de sa couleur. Fondue à une haute température, elle est très fluide; quand on la coule dans cet état il n'en jaillit pas d'étincelles brillantes; elle reste long-temps liquide, et pendant son refroidissement il ne s'en dégage pas de carbures de fer.

2° Fonte *grise*. Sa cassure est également compacte; mais cependant son grain est un peu plus gros. Plus les morceaux ont été coulés minces, et plus on aperçoit de finesse dans leur cassure.

3° Fonte *noire*. Celle-ci a peu de dureté et de cohésion; sa cassure est aussi beaucoup moins compacte que celle des deux autres variétés. Ses grains sont gros, quelquefois lamelleux. On la travaille très facilement à la lime et au ciseau. Lorsque cette fonte a été refondue, sa surface, en se refroidissant, s'arrondit, devient convexe et onduleuse, et elle se couvre d'une quantité considérable de carbure de fer.

De la fonte truitée.

Il convient peut-être de ne considérer cette sous-variété que comme un mélange des autres.

On appelle ainsi un fer cru qui offre dans sa cassure, soit un fond gris parsemé de points

blancs, soit un fond blanc parsemé de points gris. Cette espèce de fonte contient une proportion moyenne de graphite, entre la quantité contenue dans la fonte grise et celle contenue dans la fonte blanche. Ses propriétés et ses qualités sont également moyennes entre celles de ces deux premières variétés.

La fonte truitée est plus dure que la fonte grise; elle est plus molle, plus flexible, plus résistante au choc que la blanche. On la travaille plus facilement au ciseau et à la lime que celle-ci. Sa densité est moyenne entre la fonte grise et la blanche; la tache qu'occasione dessus l'affusion de l'acide nitrique est plus noire que celle qu'offre la fonte blanche; elle l'est moins que sur la grise.

On divise ordinairement la fonte truitée en trois sous-variétés.

1° *Grise truitée*. Elle est un peu plus dure que la fonte grise; sa cassure présente des points blancs sur un fond gris. Etant fondu de nouveau, ce fer cru lance des étincelles brillantes quand on le coule. Après le refroidissement sa surface est plane, quelquefois légèrement convexe; ses bords sont aigus.

2° *Blanche truitée*. Celle-ci est encore plus dure que la précédente; sa cassure offre à l'œil des points noirs sur un fond blanc; étant fondue elle lance plus d'étincelles que la précédente sous-variété; on la travaille moins facilement à la lime et au ciseau. C'est ordinairement cette sorte de fonte truitée qui donne, par le refroidissement sur le sable, les trois nuances caractéristiques dont il a été parlé précédemment.

3° *Fonte truitée également*. Cette sous-variété tient le milieu entre les deux précédentes. Sa cassure laisse apercevoir un mélange égal de points noirs et blancs.

TABLEAU

DES ANALYSES DE PLUSIEURS ESPÈCES DE FONTES DE FER.

LIEUX D'OU VIENNENT LES FONTES.	ESPÈCES.	FER.	MANGANÈSE	CHARBON.	TERRES OU LAITIER.	SUBSTANCES étrangères. Espèces.	SUBSTANCES étrangères. Quantité.	ANALYSTES.
Creusot.	Grise.	93.15	Trace.	02.10	04.80	Soufre	00.30	
Idem.	*Idem.*	96.79		02.40	00.54	Phosph.	00.75	L'ingénieur Guenyveau.
Sainte-Hélène (Mont-Bl.)	Blanche.	95.70	1.50	01.00	01.70	Phosph.	00.27	
Allevard.	Grise.	92.80	1.80	03.00	02.20	Cuivre.	00.10	
Idem.	Mazée.	98.80	0.40	00.50	00.00	Cuivre.	00.18	L'ingénieur Berthier.
Leufstadt.	Grise.	0.960		0.02	0.020	Cuivre.	00.30	
Idem.	*Idem.*	0.967		0.017	0.016			
Hallefort.	Noire.	0.947		0.017	0.026			
Idem.	Grise.	0.957		0.022	0.021			
Forsmark.	Truitée.	0.970		0.015	0.015			Bergman, *Analyse du fer.*
Akerby.	*Idem.*	0.974		0.013	0.013			
Brattefors.	Blanche.	0.975		0.012	0.013			
Hallefort.	Blanche.	0.980		0.010	0.010			

Le Creusot.	Noire.	0.970		00 15	0.015			Gazeran, *Annal. de chim.*, tom. 7
Idem.	Très grise	0.972		00 14	0.013			
Idem.	*Idem.*	0.973		0.014	0.013			
3/4 Creusot, 1/4 Fr.-Com.	Grise.	0.979		0.011	0.010			
1/2 Creusot, 1/2 Fr.-Com.	Grise.	0.980		0.010	0.010			
Franche-Comté.	Grise.	0.981		0,010	0.009			
Périgord.	Truitée.	0.984		0.008	0.008			
Le Creusot.	Truitée.	0.985		0.008	0.007			
Creusot, bons canons.	Grise.	0.992		0.004	0.004			
Idem.	Grise.	0.991		0.005	0.004			
Angleterre.	Truitée.	0.995		0.002	0.001			
Le Creusot.	Blanche.	0.996		0.002				
Idem.	*Idem.*	0.997		0.002				
Idem.	*Idem.*	0.998		0.002				
Allevard. (Isère.)	Grise.	0.9353	0.018	0.0333	0.0134	Cuivre.	Trace.	École pratique de Moustiers.
Idem.	Blanche.	0.9742	0.0154		0.0104	Cuivre.	Trace.	
Ste-Hélène. (Mont-Bl.)	Grise.	0.9270	0.0180	0.030	0.022	Cuivre. Phosph.	0.0024 0.00055	
Idem.	Blanche.	0.9569	0.0154	0.100	0.170	Cuivre.	0.0007	Registre du conseil des mines, n° 266.
Allevard.	Mazée.	0.981	0.020	0.005		Cuivre.	0.004	

DU FER MALLÉABLE OU DUCTILE.

La ductilité du fer ne lui est acquise que par l'affinage, qui le prive d'une grande partie des matières qui l'accompagnaient dans la fonte ou fer cru, et par une compression qui en rapproche les molécules, soit que celle-ci soit procurée au moyen de martinets, de marteaux ou de cylindres forgeurs et étireurs.

Du fer cru qu'on affinerait complétement, c'est-à-dire auquel on enlèverait tout ce qu'il contient d'étranger, deviendrait du fer pur; celui-ci serait éminemment ductile. Mais dans les travaux d'affinage on ne parvient point à dégager la totalité du carbone, ni même peut-être tout l'oxygène de la fonte ou fer cru. Certains fers contiennent encore simultanément des quantités plus ou moins grandes de l'un et de l'autre; quelquefois les fers ne contiennent que l'un ou l'autre des deux. Plusieurs fers contiennent en outre, mais accidentellement, du phosphore, du soufre, du chrome, et quelques autres métaux; ils peuvent même retenir une certaine proportion de verres terreux ou laitier. Tout ceci rend suffisamment raison de l'immense variété d'effets divers qui se manifestent dans l'emploi des fers, soit à froid ou à chaud.

Dans presque toutes les analyses du fer faites par Bergmann, il a trouvé du graphite, ou plombagine (carbure).

Voici les principales publiées par ce grand homme :

TABLEAU *des analyses de fer par* BERGMANN.

Espèces de fer.	Quantité de fer.	Quantité de graphite.
Fer forgé d'Husaby.	0.994	0.006
— d'Akerby.	0.995	0.005
— de Leuffstadt.	0.997	0.003
— de Brattfors.	0.997	0.003
— de Grangen.	0.999	0.001

Il convient d'observer que nous appelons ici graphite ce que Bergmann désignait sous le nom de matière noire: Si avec lui on pouvait supposer qu'elle contînt moitié de terre, les proportions de carbone seraient dans le fer, terme moyen, entre cinq et trente dix-millièmes.

Dans les expériences de Vandermonde, Monge et Bertholet, ils ont obtenu dans les quatre variétés de fer qu'ils ont analysées, entre 75.23 (mesure d'une once d'eau) pour le fer du Creusot, et 77.90 pour le fer de Suède. Si l'on admet que l'hydrogène obtenu du fer du Creusot n'ait pas été condensé par du carbone, il s'ensuivra que ce fer contient environ un centième de son poids d'oxygène.

La densité du fer en barre varie, d'après Bergmann, entre 7,751 et 7,827, moyenne 7,770. D'après Tiémann, cette moyenne est 7,788, et d'après Rinmann 7,700.

La ténacité du fer ductile est considérablement plus grande que celle de la fonte. M. Tessier de Norbeck a fait à Saint-Gervais en Dauphiné quelques expériences, d'où il semblerait résulter que ce métal forgé a environ trois fois plus de ténacité que la fonte.

Digitized by Google

Pour apprécier la ténacité du fer, on a fait des expériences comparatives, au moyen de barreaux de 2 pouces de long, que l'on fixait dans une espèce d'étrier. Ils étaient placés sur des couteaux dont les tranchants étaient éloignés entre eux de 18 lignes. On plaçait sur le milieu des barreaux un crochet à couteau, à l'extrémité duquel était suspendu un plateau de balance, que l'on chargeait de poids jusqu'à rupture du barreau.

Le tableau suivant indique pour les poids et pour le temps d'action le résultat de ces expériences.

TABLEAU des résistances des fontes de fer, comparées à celles des fers forgés.

FONTES.

Largeur.	Epaisseur.	Poids pour rompre.	Temps.
3 lig.	1.5 lig.	500 liv.	7'
3	3	900	30'
4	2	500	7'
4	4	1,650	36'
4	4	1,775	37'

FERS FORGÉS.

0.5 lig.	1 lig.	211 liv.	14'
1	1	581	24'
2	1.5	1,831	60'
2	2	2,231	35'
3	1.5	2,931	45'
3	3	4,131	64'
4	3	5,931	1 20'
4	4	11,587	3 56'

Musschenbroek a fait aussi sur la ténacité du fer forgé plusieurs expériences. Il suspendait entre deux anneaux des prismes de fer forgé de un dixième de pouce (du Rhin) de largeur, et, par le moyen de poids placés dans le plateau inférieur, il déterminait leur résistance.

TABLEAU des expériences de Musschenbroek.

Espèces de fer.	Poids employés.	Moyenne.
Fer d'Espagne, de Ronda, dans l'Andalousie.	800 l.	800
— de Suède.	870	726
— *idem.*	700	
— *idem.*	750	
— *idem.*	670	
— d'Osmonde.	750	700
— *idem.*	630	
— *idem.*	670	
Fer d'Allemagne, à la marque *B R.*	910	755
— *idem.*	600	
Fer d'Allemagne, à la marque *L.*	840	740
— *idem.*	700	
— *idem.*	680	
Fer d'Allemagne ordinaire.	690	676
— *idem.*	670	
— *idem.*	670	
— Fer de Liége.	810	723
— *idem.*	750	
— *idem.*	610	

Il y a une grande variation dans la résistance et la ténacité des fers. Cela dépend et de leur qualité et de la manière dont ils ont été forgés. On observe même à cet égard des phénomènes dont il est fort difficile d'assigner la cause. On sait, par exemple, qu'une très légère incision faite

avec une lime ou autrement, sur la surface forgée d'un barreau, diminue quelquefois sa ténacité de près de moitié.

Le fer ductile se divise ordinairement en quatre classes : *fer doux, fer cassant à froid, fer brisant à chaud,* et *fer aigre* cassant à froid et brisant à chaud.

Du fer doux.

Ses principaux caractères sont d'être ductile à froid et à chaud, d'être très malléable. A froid tout comme à chaud, on peut le replier plusieurs fois sur lui-même sans qu'il rompe; il est susceptible de se brûler, de s'oxider facilement lorsqu'il est exposé rouge de feu à l'action de l'air; mais il se rouille lentement et uniformément lorsqu'il reste exposé à l'action combinée de l'air et de l'eau. Il est d'une fusion extrêmement difficile. Il paraît qu'il n'entre en fusion qu'à 158° du pyromètre de Wedgwood. En fondant il lance des étincelles vives et brillantes, et la trempe n'ajoute rien à sa dureté. Etant limée, sa surface affecte la couleur gris-clair. Cette variété de fer est éminemment magnétique, sous l'influence d'un aimant, mais cette propriété se perd promptement lorsqu'elle cesse d'être dans sa sphère d'activité.

La plupart des métallurgistes sous-divisent cette variété de fer en *fer grenu, fer nerveux* et *fer mélangé*. Le fer grenu est celui dont la cassure présente une espèce de grain plus ou moins brillant; et dans le fer nerveux la cassure offre à l'œil des filaments.

Il semblerait que le fer grenu aurait une moindre ténacité que le fer nerveux.

1° Le fer grenu se présente quelquefois avec de

gros grains ou des facettes nombreuses et irrégulières; la couleur de la cassure tire sur le bleuâtre. 2° A grains encore plus gros; celui-ci est moins spéculaire; il est presque lamelleux; sa cassure tire sur le blanc. 3° Il est décidément lamelleux, et la couleur de sa cassure est argentine.

Quant au fer nerveux, on y observe : 1° des nerfs courts, et dans ce cas la couleur de la cassure est le gris-foncé; 2° de longs nerfs; la couleur de la cassure tire au gris-blanc; 3° des nerfs lamelleux; la couleur de celui-ci est également le gris-blanc.

Le fer mélangé est composé ou mélangé de ces deux variétés; sa cassure est en partie nerveuse et en partie grenue.

Le fer nerveux passe pour être le plus tenace, le plus ductile, le plus malléable, le plus extensible et le plus résistant; et le fer grenu est considéré comme le plus aigre et le plus cassant. Mais il y a peu d'exactitude dans ces assertions proposées sans distinction de circonstances, car le nerf ou le grain peuvent être donnés à volonté au même morceau. Si l'on forge à froid, tous les fers ductiles acquerront du nerf; quant au grain, on peut toujours en donner, si, après avoir chauffé le fer sans le forger, on le laisse refroidir.

Il y a même plus, c'est que dans plusieurs circonstances le nerf qu'a acquis le fer, par le travail à froid, n'a fait que diminuer sa résistance et sa ténacité. Ainsi, par exemple, lorsqu'on fait passer du fer à la filière, il acquiert du nerf par cet étirement; mais, dans ce cas, si l'on négligeait de le lui faire perdre en le chauffant, il deviendrait cassant et on ne pourrait l'étirer de nouveau sans le rompre.

Il semble donc plus convenable d'adopter, au

lieu des distinctions admises d'après la nature des grains ou des filaments que présente la cassure du fer, les dénominations caractéristiques de fer *mou* et fer *dur*.

Le fer *mou* est le plus pur des fers doux; il se forge, s'étend, s'étire, se plie, se replie avec une merveilleuse facilité, et tout aussi bien à froid qu'à chaud. Son élasticité n'est pas appréciable; il conserve tous les plis qu'on lui a imprimés. Sa résistance est énorme; un fer de cette espèce de 77 décimillimètres de diamètre peut supporter sans se rompre un poids de 210 kilogrammes. Il peut être étiré assez fin pour qu'un fil d'un mètre de long ne pèse que deux grains: c'est dans le commerce le fil indiqué sous le n° 12.

C'est de tous les fers celui qui est resté le moins carboné. Une goutte d'acide nitrique qu'on laisse tomber sur sa surface limée et polie n'y laisse qu'une trace parfaitement blanche. Suivant la température à laquelle il a été forgé, son tissu peut être nerveux ou grenu. Il est très facilement oxidable à l'air. C'est le fer qui convient le mieux pour la fabrication de la tôle destinée au fer-blanc, pour les canons de fusil, le fil de fer, certains clous, etc., etc.

Le fer *dur* est reconnaissable en le forgeant, et cela par la difficulté qu'on trouve à l'étendre soit à froid ou à chaud. Il est dur à travailler; par la trempe, il acquiert une partie de la dureté et de l'élasticité que cette préparation communique à l'acier. Il a du corps, et il résiste mieux que le fer mou aux usages auxquels on le destine. Sa cassure conserve des rebords, elle offre des petites facettes bleues ou de couleur terne, ou de larges fibres. Cette sous-variété du fer est un peu carbonée; on attribue au graphite

qu'il contient ses propriétés distinctives; l'affusion d'acide nitrique le tache en gris. Le fer dur se fond un peu moins difficilement que le fer mou, et déchète moins; son oxidation à l'air est plus lente. On peut le regarder comme un intermédiaire entre le fer mou et l'acier.

Du fer cassant à froid.

Ce qui distingue du fer doux le fer aigre, cassant à froid, c'est qu'il casse net quand il est frappé à faux. Il est certains fers tellement défectueux sous ce rapport, que les barres qu'on laisse tomber se cassent en plusieurs morceaux.

La cassure de cette sorte de fer paraît être composée de lames plus ou moins grandes, qui passent visiblement à la texture grenue. Les grains en sont gros et brillants, leur couleur est blanche, et celle des lames bleuâtre.

Quand on forge ce fer, les grains et les lames diminuent un peu; si on le trempe ils augmentent. Plus les lames et les grains sont considérables, plus le fer est cassant.

A chaud ce fer est très tendre, et il se forge même plus facilement que le mou. On s'en sert assez ordinairement dans la confection de certaines pièces qui offrent des difficultés à être forgées, telles que des verges cylindriques, des clous, etc.; on en trouve beaucoup dans le commerce: la facilité de son travail et l'abondance des minerais d'où on l'extrait rendent raison de ceci.

Le fer cassant est moins oxidable que le fer doux; il est plus pesant; sa densité est, d'après Bergmann, 7,791 pour le fer aigre des forges de Braas, tandis que le fer ductile des mêmes forges

n'est que de 7,751. Le fer cassant se fond à une température moindre que celle nécessaire pour la fusion du fer doux. L'acide nitrique le tache en noir ; il est moins fortement magnétisé par influence, mais il conserve mieux le magnétisme qu'il a reçu.

Avec cette variété de fer, on ne peut confectionner ni fil d'archal, ni fer-blanc ; elle ne peut être employée à rien de susceptible de recevoir des chocs ou de soutenir des poids.

Du fer brisant à chaud.

On appelle *rouverins*, ou fers brisants à chaud, ceux qu'on a peine à forger lorsqu'il sont chauffés au rouge. Ceux-là se gercent aussi sous l'effort des machines comprimantes.

On observe deux sortes de défauts dans ces fers. Le premier de ces défauts, c'est qu'ils sont exposés à se briser, à se pulvériser même, lorsqu'on les forge à une certaine température ; tandis que, si cette température est encore plus élevée, ou bien si elle n'a pas atteint celle à laquelle le brisant se manifeste, on peut les comprimer et les malléer parfaitement : c'est ce qui leur a fait donner par les ouvriers le nom de *fers de couleurs*, parce que, pour pouvoir les travailler, il faut être attentif à celle que leur communique le degré de température. La seconde défectuosité consiste en ce qu'on ne peut les plier sans qu'ils ne rompent ou ne se brisent à l'endroit du pli. Ce défaut devient encore plus sensible dans la perforation : si l'on fait un trou à chaud dans une barre, le fer se brise à l'entour du trou.

Quelquefois ces fers brisent à la première cour-

bure qu'on veut leur donner; d'autres fois ils ne brisent que lorsqu'on les redresse, ou lorsqu'on les courbe une seconde fois. Souvent aussi le défaut n'est que dans une partie de la barre, et plus loin on a un fer susceptible d'être bien forgé à chaud. Il importe de distinguer ces défectuosités accidentelles de celles qui tiennent à la nature générale du fer.

Dans le commerce il se trouve beaucoup moins de fers brisants à chaud, et surtout de fers de couleurs, que de fers cassants à froid. Cela est tout simple, le fer affecté de ce vice à un trop haut degré, n'étant pas susceptible d'être forgé, ne peut guère être le produit d'une exploitation. On peut en général assez facilement reconnaître ce fer à l'inspection des barres; les arêtes se crevassent et se couvrent de gerçures.

Les caractères généraux du fer brisant à chaud sont d'être susceptible d'être forgé, plié à froid, et de se refuser à la même opération étant chauffé au rouge; d'être doux et liant à froid; de prendre sous la lime une couleur bleuâtre; d'avoir une cassure fibreuse, inégale, non compacte, et de couleur claire; de lancer des étincelles rouges et grosses lorsqu'il a éprouvé une chaude suante, ou lorsqu'il est fondu; d'exhaler quelquefois une odeur de soufre; d'être très oxidable; de se rouiller facilement à l'air, et de se dissoudre très bien dans les acides; d'être taché en gris par l'acide nitrique, et de conserver une partie du magnétisme qu'il reçoit par influence. Cette espèce de fer est très propre à la fabrication des objets très résistants, mais qui peuvent être travaillés à froid. La fonte d'où on l'extrait est peu convenable pour couler des poeles, des fourneaux, des ustensiles de cuisine, à cause de l'odeur particulière et dés-

agréable que répandent quelques unes de ces fontes lorsqu'elles sont chauffées.

Du fer aigre.

On admet encore une quatrième variété, sous le nom de fer *aigre*. Gerrard en parle dans son mémoire sur la différence des fers. Celui-ci participe de la double défectuosité d'être cassant à froid et brisant à chaud. Un échantillon de ce fer ayant été analysé, on y a trouvé 0.01 de phosphore et 0.001 de carbone. Ce fer n'est absolument propre qu'à des grilles ; son aspect est presque cristallin, mais terne cependant.

Toutes les variétés de fer qui viennent d'être énumérées sont susceptibles d'être limées et polies ; mais toutes, dans de certains cas, peuvent aussi s'y refuser : c'est quand il y a un mélange de grains durs parsemés dans le fer, sur lesquels la lime n'a point de prise. Ce défaut est même assez commun ; mais il ne peut nuire qu'à l'égard des objets qui exigent le poli : la raison de ce phénomène est peu connue. Cependant on peut, jusqu'à un certain point, le faire naître, tout comme on peut y remédier. Si l'on donne au fer une chaude suante, et qu'on le laisse ensuite se refroidir très lentement, il se formera de ces grains durs ; au contraire, un fer affecté de ce défaut doit être forgé pendant qu'il froidit, comme si on voulait lui donner du nerf : dans ce cas les grains disparaissent.

DE L'ACIER.

Comme nous nous proposons de nous occuper

spécialement, dans la partie d'application de cet ouvrage, de l'acier, de ses propriétés et de sa fabrication, ce que nous en dirons ici se bornera nécessairement à un exposé des caractères physiques de cette substance intéressante.

L'acier n'est autre chose qu'un fer plus chargé de carbone que le fer ductile ordinaire, et dans lequel aussi le carbone est peut-être combiné d'une manière plus intime.

Chauffé d'abord à des températures plus ou moins élevées, et appropriées aux usages pour lesquels l'acier est destiné, et refroidi plus ou moins brusquement ensuite, l'acier subit par là l'opération appelée la *trempe*, et il jouit alors d'une dureté qui le rend propre à entamer presque tous les corps; et ce qui le caractérise dans cet état d'une manière très remarquable, c'est l'élasticité qu'il acquiert, élasticité telle qu'au moyen de certaines préparations qui contribuent à la développer, l'acier devient susceptible d'être un agent général et commode de conservation et de modification des forces que le mécanicien tient à sa disposition.

L'acier est d'un gris clair, approchant de celui de certaines fontes. Le poli qu'il affecte est supérieur à celui de tous les autres métaux. Un travail convenable lui fait acquérir un brillant, un éclat, qui, sans contredit, le placent au premier rang de ces substances pour l'agrément de la vue. La surface de l'acier s'aplanit, se dresse beaucoup plus également que celle du fer commun.

Avant d'avoir subi la trempe, sa cassure est la même que celle du fer de bonne qualité. Il est malléable à froid et à chaud, et conserve le pli qu'on lui donne. Tout comme le fer, selon qu'il a été forgé à une température plus ou moins élevée,

et avec certaines précautions, il a du grain ou du nerf; mais par une trempe appropriée au but que l'on se propose, il peut prendre un grain dont la finesse ou la grosseur est principalement dépendante des températures auxquelles il a été soumis. On peut le rendre dur, aigre, élastique, propre à couper le verre le plus dur. L'acier perd, par l'effet d'un réchauffement nouveau, la propriété que lui avait donnée la trempe, et se rapproche du fer ductile.

Nous avons vu plus haut que, d'après les expériences de Musschenbroek, des parallélipipèdes d'un dixième de pouce du Rhin de diamètre se rompaient sous un poids variable entre 610 et 910 livres. Des expériences faites sous les mêmes conditions, par le même savant, en employant l'acier en place du fer, ont offert les résultats suivants :

	livres.
L'acier mou a été rompu sous une charge de	1190
— d° moyenne bonté.	1240
— d° ordinaire.	1080
— d° excellent, fortement trempé.	1120
— d° trempé pour rasoirs.	1500
— d° trempé pour couteaux ordinaires.	1350

L'acier est fusible sans addition, et à une température moindre que celle du fer. Il est plus dilatable. Chauffé à blanc, il en jaillit des étincelles rouges. La flamme avec laquelle il brûle est d'un bleu clair.

Sa densité varie entre 7,780 et 7,840.

Dans la seconde partie de cet ouvrage nous nous étendrons davantage sur plusieurs de ses propriétés.

L'acier est considéré comme une combinaison

très intime de fer et de carbone. Un grand nombre d'analyses qui en ont été faites n'offrent que ces deux éléments, plus quelques parcelles terreuses dans quelques variétés d'acier, et qu'il faut regarder comme des accidents.

Digitized by Google

TABLEAU des analyses de plusieurs variétés d'acier.

LIEUX D'OU VENAIT L'ACIER.	ESPÈCES d'acier.	SUBSTANCES COMBINÉES.			SUBSTANCES par accident.	QUANTITÉ.	OU L'ON VOIT LES ANALYSES.
		FER.	CARBONE.	PHOSP.			
Osterby.	Fondu.	0.994	0.003		Laitier.	0.003	*Analyse du fer*, par Bergmann.
Idem.	Forgé.	0.999	0.001		*idem.*		
Forsmark		0.995	0.003		*idem.*	0.002	
Angleterre.		0.996	0.002		*idem.*	0.002	
Préparé par M. Dalie-Usaby		0.996	0.003		*idem.*	0.002	
		0.995	0.003		*idem.*	0.002	
		0.983	0.009		*idem.*	0.008	
Ramelsdorf.	Fusion.	0.98551	0.00789	0.00345	*idem.*	0.00315	*Journal des mines*, n° 25. (Vauquelin.)
		0.98217	0.00683	0.00827	*idem.*	0.00273	
		0.98105	0.00789	0.00701	*idem.*	0.00315	
		0.97597	0.00631	0.01520	*idem.*	0.00250	
Charenton départem. du Cher.	Fusion.	0.9100	0.0200	0.070	*idem.*		Registre du conseil des mines. N° 77. (Vauquelin.)
		0.9250	0.0150	0.060	*idem.*		
		0.9400	0.0100	0.045	*idem.*		
Rives.	Fusion.	0.9900	0.0070	Cuivre.	Trace.		Ecole pratique de Moustiers.
				Mangan.	Trace.		

Mushet a observé (*Philos. magas.*, vol. XIII.) que la dureté du fer augmente à mesure qu'il s'y combine du carbone, jusqu'à ce qu'il en contienne 0.016 de son poids : c'est là le maximum pour la dureté ; passé cette limite, toute nouvelle addition de carbone la fait décroître.

D'après le même métallurgiste anglais, les quantités de carbone dans les divers aciers sont comme suit :

Acier fondu mou.	0.008
Acier fondu ordinaire.	0.010
Acier fondu dur.	0.011
Acier fondu plus dur.	0.020.

En Styrie, en Carinthie, dans plusieurs parties de l'Allemagne, sur un grand nombre de points de la France, on obtient de l'acier naturel. Les minerais de fer employés dans cette fabrication sont tous manganésifères : c'est ce qui avait fait penser à Gazeran, directeur d'une verrerie, et un grand nombre de métallurgistes ont partagé cette opinion, qu'il n'y a pas de bon acier sans manganèse. Mais une foule de considérations que nous n'avons pas de place pour rapporter ici tendent à faire penser que cette vue est absolument erronée. Nous ne nions pas cependant l'influence du manganèse dans la fabrication de l'acier, et nous aurons occasion d'en parler dans la seconde partie de cet ouvrage ; mais il est certain que ce métal n'est pas un constituant nécessaire de l'acier, et qu'il est même assez rare qu'il se trouve en combinaison avec lui.

DES MINERAIS DE FER.

Métallurgiquement parlant, on donne le nom de *minerai* aux pierres, aux rochers, aux mottes, aux sables, aux terres qui contiennent des substances métalliques.

En général, les minerais de fer sont ou des oxidules, ou des oxides, mélangés ou combinés avec des terres, des combustibles ou d'autres métaux. On a établi à cet égard des divisions plus ou moins arbitraires, ou plus ou moins bien fondées sur les caractères physiques ou les analyses chimiques auxquelles ces minerais ont été soumis.

La théorie, ou, pour mieux dire, la philosophie de toutes ces classifications, nous arrêtera peu. Nous considérerons ici le fer uniquement comme objet d'exploitation : nous n'envisagerons ses minerais que sous le rapport de leur richesse, de la quantité de fer qu'ils peuvent fournir, et du plus ou moins de difficulté de l'extraction. Nous ne faisons pas un traité de la minéralogie du fer, mais un essai de l'art théorique et pratique des forges.

M. Haüy avait divisé le genre fer en neuf espèces : fer oxidulé, fer oligiste, fer arsénical, fer sulfuré, fer carburé, fer oxidé, fer azuré, fer sulfaté, fer chromaté.

Werner a divisé ce genre en quatorze espèces, fer natif, pyrite sulfureuse, pyrite magnétique, mine de fer magnétique, fer spéculaire, mine de fer rouge, mine de fer brune, mine de fer spathique, mine de fer noire, mine de fer de gazon, fer terreux bleu, fer terreux vert, émeril.

Dans l'une comme dans l'autre de ces classifi-

cations, l'on trouve des espèces qui sortent du domaine du métallurgiste : car non seulement elles ne peuvent pas être traitées avec avantage ni bénéfice pour en retirer le fer, mais même le fabricant doit en écarter avec soin plusieurs, comme pouvant altérer défavorablement la qualité de ses produits.

Le métallurgiste doit exclure dans la nomenclature de Haüy le fer arsénical, le fer sulfuré, le fer azuré, le fer sulfaté et le fer chromaté ; et dans la nomenclature de Werner le fer pyriteux, la pyrite magnétique, le fer terreux blanc, le fer terreux vert, l'émeri, le fer natif. Dans ces espèces il y aurait de nuisible dans la fabrication le fer arsénical, les pyrites et les sulfates, et les autres espèces n'offriraient aucun bénéfice.

Les seules espèces que le métallurgiste doive exploiter dans le genre fer de Haüy sont donc au nombre de trois, le fer oxidulé, le fer oligiste et le fer oxidé; et dans le genre de fer Werner, au nombre de sept, le fer magnétique, le fer spéculaire, la mine de fer rouge, la mine de fer brune, le fer spathique, le fer noir, le fer argileux, le fer limoneux.

Nous répéterons que, pour le métallurgiste, le genre est le métal qu'il se propose d'extraire : il suit de cette définition que tous les minerais qui peuvent lui fournir en grand et avec avantage du fer d'une bonne qualité rentrent dans les limites de la méthode qui lui est propre. L'espèce se composera, pour le métallurgiste, de tous les minerais qui s'offrent dans un état de composition semblable et qui exigent dans leur traitement d'exploitation des procédés analogues. D'après cette manière de voir, qui s'écarte totalement des méthodes minéralogiques, le genre fer

sera divisé en trois espèces principales, 1° fer *oxidulé* ou *métalloïde*, 2° fer *carbonaté* ou *spathique*, et 3° fer *oxidé*.

Du fer oxidulé ou métalloïde.

Cette dénomination du fer représente ici les fers oxidulé et oligiste de Haüy et les fers magnétique et spéculaire de Werner. L'éclat métallique dont ils jouissent les fait reconnaître à la vue simple. On les a soumis à un grand nombre d'analyses, qui toutes, à quelques légères différences près dans la proportion de l'oxygène, ont présenté les mêmes résultats : d'où l'on doit conclure que tous ces fers doivent être soumis au même traitement.

Il existe des fers oxidulés ou métalloïdes qui, à cause de la grande quantité de substances étrangères qui les souillent, ne rendent que 0.32 de métal pur. Plusieurs de ces variétés sont recouvertes de cristaux de quartz et de pyrite; dans d'autres on trouve de la stéatite ou des terres. Swedenborg parle de fers oxidulés qui ne rendent dans les hauts fourneaux que de 0.10 à 0.20.

Ces minerais se présentent ordinairement en couches, en filons, en masses, en blocs, en fragments ou en grains. Ils sont doués de l'éclat métallique du fer; leur couleur varie du gris d'acier au gris-noir; leur cassure est inégale; leur structure grenue, fibreuse et divergente; leur raclure est ou noir-brun, ou noir-rougeâtre.

Ils jouissent de la magnéticité à des degrés très variables; leur densité varie entre 4,200 et 5,012.

Propriétés chimiques relatives aux essais par la voie humide.

Ces oxidules, étant pulvérisés et versés dans un flacon plein d'acide muriatique pur, bouché ensuite pour empêcher tout contact de l'air, s'y dissolvent lentement. L'acide hydro-sulfurique ne trouble pas la dissolution; les alcalis en précipitent l'oxide en noir, et les prussiates en blanc, ce qui prouve que le fer est à l'état d'oxidule seulement. Mais assez souvent ces minerais sont mélangés d'oxides au *maximum* : dans ce cas la dissolution est troublée par l'hydrogène sulfuré; les alcalis précipitent d'abord en rouge, puis en noir, et les prussiates précipitent un mélange de prussiates bleu et blanc, dont la nuance se fonce à l'air.

On divise les fers oxidulés en trois variétés : 1° *cristallisée*, 2° *amorphe*, 3° *arénacée*.

Première variété.

Les oxidules cristallisés ne sont presque jamais, dans l'état d'isolement, le sujet d'un traitement en grand pour en obtenir du fer. Ils se rencontrent trop rarement et en trop petite quantité. Le fer oxidulé du Val-d'Aoste en offre de charmants échantillons, dignes de toute l'attention du minéralogiste, mais qui, d'après leur rareté, ont peu d'attrait pour le métallurgiste.

Deuxième variété.

Les fers oxidulés amorphes présentent un

grand nombre de sous-variétés : en minéralogie, ce sont, d'après leur cassure, des oxidules laminaires, grenus, fibreux, compactes, écailleux, etc., etc. Le métallurgiste n'y voit que deux sous-variétés, selon la quantité des produits en fer : les fers oxidulés purs, et les fers oxidulés terreux. En général, lorsque les terres qui accompagnent les oxidules de fer y sont dans les proportions convenables, ces minerais sont plus faciles à traiter, et donnent une meilleure fonte que ceux qui sont plus purs. En Suède, principal gisement de ces minerais, on les distingue, suivant Garney, en fusibles sans addition, difficilement fusibles, et très fusibles : les premiers sont mélangés d'actinote, de hornblende, de grenat compacte, de jaspe ou silex ferrugineux ; les seconds sont mélangés de quartz, de feld-spath, d'asbeste ; les troisièmes contiennent de la chaux fluatée et du fer sulfuré.

Troisième variété.

Les oxidules de fer arénacés sont extrêmement variables pour la nature et les proportions des terres mélangées. Plusieurs de ces sables ferrugineux sont recueillis avec soin et traités dans les hauts fourneaux ; quelques uns sont purs, tel est celui qu'on ramasse sur les bords de la mer à l'île d'Elbe, et que les maîtres de forges achètent sous le nom de *poulette ;* d'autres sont mélangés avec plusieurs substances qui sont susceptibles d'altérer plus ou moins la qualité du fer que l'on en extrait.

On trouve des sables ferrugineux à Saint-Quai, près Châtelaudren, qui fournissent, dit-on, aux hauts fourneaux jusqu'à o.50 d'une fonte d'où l'on

peut extraire de bon fer. L'analyse a fait voir dans un échantillon de ce sable 0.44 oxide de fer, 0.54 oxide de titane, 0.015 oxide de manganèse et trace de chrome.

D'après des expériences de l'ingénieur des mines Cordier, on en trouve toujours des quantités plus ou moins grandes dans le fer qui provient d'un sable ferrugineux, produit des masses volcaniques désagrégées sujettes au frottement.

DES MINERAIS DE FER SPATHIQUE.

Ce fer carbonaté contient presque constamment de l'oxide de manganèse et de la magnésie. Quelquefois aussi, mais accidentellement, on y trouve de la chaux, de la silice.

Au premier aspect on serait peu tenté de prendre le fer carbonaté ou spathique pour un minerai de fer. Il est même très facile de le confondre avec certaines chaux carbonatées ferrugineuses et magnésiennes qui brunissent comme lui à l'air.

Pendant bien long-temps on a cru que les minerais de fer spathique étaient composés de parties égales de chaux carbonatée, et d'oxide de fer, et d'un cinquième d'oxide de manganèse. Aussi, en considérant la chaux comme partie essentielle et caractéristique de ces minerais, ne pouvait-on manquer de blâmer l'usage de la *castine* dans la vue de les faire fondre, comme on le pratique à Allevard et dans plusieurs autres usines; mais à l'école pratique de Moustiers, les expériences faites ont prouvé combien ces idées étaient erronées.

La forme qu'affecte le plus ordinairement le minerai de fer spathique est le lamellaire en

masse; quelquefois il y a à la surface une cristallisation en rhomboïdes primitif, équiaxe, inverse; ou en prismes hexaèdre, régulier, lenticulaire, etc. On peut avec raison penser que toutes les variétés que présente dans sa cristallisation la chaux carbonatée sont susceptibles de se reproduire avec le fer spathique.

La couleur du minerai varie du blanc-grisâtre au jaune-isabelle; quelques échantillons sont bruns ou noirâtres; souvent dans le même morceau on trouve les deux couleurs, grise et brune. Cependant la division est toujours nette et tranchée. Lorsque les mines grises sont calcinées, ou seulement exposées à l'air pendant un temps plus ou moins considérable, elles brunissent. Ce minéral est plus ou moins dur; plusieurs échantillons sont faciles à casser.

La cassure est d'un blanc grisâtre ou d'un brun jaunâtre; la densité varie entre 3,600 et 4,000.

La différence de couleur dans ces minerais correspond assez exactement à la variation dans les produits de l'analyse, et, d'après l'un et l'autre genre de considération, on peut diviser les fers spathiques en deux classes.

Le fer spathique gris est le fer carbonaté dans son état de pureté, tel qu'il se trouve avant d'avoir subi l'action de l'air ou du feu : dans cet état il donne, par la calcination, de 0.300 à 0.370 d'eau et d'acide carbonique; il produit de 0.340 à 0.430 de fer. Il s'y trouve combiné de l'oxide de manganèse et de la magnésie. La proportion du manganèse varie entre 0.005 et 0.120, et celle de la magnésie entre 0.0075 et 0.1401.

Le fer spathique gris est, le plus souvent, lamelleux, et quelquefois cristallisé.

Le fer spathique brun est évidemment dû à la décomposition du fer carbonaté. On l'a caractérisé quelquefois par l'épithète d'*hépatique*, à cause de sa couleur de foie ; souvent même il a été confondu, à cause de l'analogie de couleur, avec une autre mine hépatique, laquelle est, à n'en pas douter, le produit de la décomposition d'un sulfure de fer ou pyrite martiale. Mais lorsque la mine hépatique offre encore des traces de rhomboïde, caractère essentiel du carbonate de fer, elle doit nécessairement être rangée dans la classe des fers spathiques bruns.

Le fer spathique brun ne rend à la calcination que de 0.07 à 0.210 d'eau et d'acide carbonique. Plus l'état de décomposition du minéral est avancé, et moins par la calcination il se dégage d'eau et d'acide carbonique. Par la voie sèche les essais de ce minerai ont donné de 0.46 à 0.59 de fer ; il retient de 0.01 à 0.06 d'oxide de manganèse, et de 0.00 à 0.03 de magnésie. Un fait bien remarquable, et qui a donné dans le temps lieu à une assez longue controverse à l'Ecole des mines, c'est la propriété qu'a le fer spathique de perdre la majeure partie de sa magnésie par l'effet d'une longue exposition à l'air, et de devenir plus fusible. Cette terre sort du minerai, et vient recouvrir le tas de fer spathique calciné que l'on a exposé à l'action simultanée de l'air et de l'eau. On peut alors la séparer à l'état de sulfate de magnésie ; c'est au moins celui sous lequel elle a été le plus souvent recueillie.

Il n'est malheureusement que trop fréquent de trouver dans les minerais de fer spathique des pyrites cuivreuses et martiales. La qualité du fer que l'on extrait dans ce cas souffre beaucoup de la présence de ces sulfures. La pyrite cuivreuse

principalement rend le fer *rouverin* ou brisant à chaud.

De l'oxide de fer.

Tous les fers qui, par leur aspect, ou d'après leur analyse, se présentent à l'état d'oxidation au *maximum*, sont rangés par le métallurgiste dans la classe des minerais dits *oxides*. Cependant les diverses substances avec lesquelles ils se trouvent mélangés, en apportant de grandes différences dans le degré de leur fusibilité, et dans la qualité du fer qui en provient, obligent le métallurgiste à diviser les oxides en deux sous-espèces : *oxides purs*, et *oxides terreux*.

L'oxide de fer pur ne devrait être composé absolument que de fer et d'oxygène. Le fer devrait y être à 45 pour cent d'oxidation. On trouve effectivement quelques minerais dans cet état; mais dans beaucoup d'autres il se rencontre de l'eau, de l'acide carbonique, et de l'oxide de manganèse.

Plusieurs considérations ont donné lieu à la distribution suivante : *oxides mêlés d'oxidules*, *oxides concrétionnés* ou *mamelonnés*, *oxides compactes*.

1. *Oxides mêlés d'oxidules.*

Ces oxides se distinguent très facilement des autres par des points ou des intervalles qui jouissent de l'éclat métallique du fer; ces points sont apercevables soit à la surface, soit dans la cassure des minerais. Cette variété est très abondante dans l'île d'Elbe, à Framont, etc.

Les oxides mêlés d'oxidules se sous-divisent

encore en *oxide rouge*, *oxide brun*, *oxide rubigineux* ou *rouillé*, *oxide jaune* (qui est un hydrate de fer).

Ces quatre sous-variétés, qui peuvent se trouver séparément, existent ordinairement réunies dans le même morceau.

L'oxide de fer mélangé d'oxidule ou de métalloïde a beaucoup d'analogie avec les oxidules proprement dits. Ordinairement ils se traitent ensemble, dans les mêmes fourneaux et par le même procédé. On remarque néanmoins que l'oxide mélangé d'oxidule produit de meilleure fonte que l'oxidule pur.

2. *Oxides concrétionnés ou mamelonnés.*

Ceux-ci se trouvent en blocs, en masses plus ou moins considérables; assez ordinairement ils tapissent les cavités, les vides que l'on rencontre dans plusieurs mines de fer; ils ont tout l'aspect de couches qui auraient été superposées les unes aux autres par dépôt successif dû à l'action des eaux.

C'est là l'*hématite* de Haüy, de Werner, et d'un grand nombre de métallurgistes, encore bien que cette dénomination, qui signifie, d'après l'étymologie grecque, *pierre de sang*, ne paraisse pas applicable à tous les oxides concrétionnés, au nombre desquels on en voit de nuances très variées, et qui s'éloignent plus ou moins de la couleur rouge.

Ordinairement on remarque une différence entre les oxides concrétionnés rouges et les oxides concrétionnés bruns: dans les premiers on n'aperçoit pas sensiblement de manganèse, tandis que

dans les bruns il s'en trouve une assez grande proportion. On trouve assez fréquemment dans le même gîte ces deux sortes d'hématite placées l'une à côté de l'autre, quelquefois jusque sur le même échantillon. On en a un exemple dans la mine de Framont. Les ingénieurs Berthier et Daubuisson, qui ont de nouveau analysé plusieurs variétés d'hématites brunes, y ont trouvé de l'eau de combinaison; ce qui la rangerait dans la classe des hydrates.

Les oxides mamelonnés bruns se fondent beaucoup plus facilement que les rouges. Plusieurs sont traités dans les bas fourneaux dits à la *catalane*, pour en extraire directement le fer. Cet oxide, que l'on trouve souvent dans les gîtes de fer spathique, jouit de quelques propriétés des fers spathiques bruns; mais il est plus dur et plus compacte.

Les oxides concrétionnés noirs, rubigineux et jaunes, peuvent être réunis à la sous-variété brune; souvent on les trouve ensemble sur le même échantillon; souvent encore on les voit passer par degré d'une couleur à l'autre.

3. *Oxide de fer compacte.*

Celui-ci est en masses ou en gros fragments; il est dur, rude, et ne se casse qu'avec difficulté.

C'est cette variété que Haüy divisait en oxide de fer rouge grossier, et en fer oxidé rubigineux massif, et dont Werner faisait sa mine rouge compacte et sa mine brune compacte. Ces minerais se trouvent ordinairement ensemble, et recevant le même traitement dans les fourneaux, sous le rapport métallurgique, il ne semble pas qu'on doive les séparer.

Ces sortes de minerais sont ordinairement très riches, puisqu'ils donnent, par la voie sèche, entre 0.54 et 0.70 de fer. La terre qui les accompagne est assez communément la silice, combinée quelquefois avec l'alumine, souvent avec la chaux, et même, dans quelques circonstances, avec ces deux terres réunies. On a trouvé, dans un petit nombre d'échantillons, du manganèse.

Il paraît que l'oxide brunâtre contient environ 38 d'oxygène sur 100 de fer.

L'aspect de l'oxide de fer compacte est lisse ou demi-terreux. Sa cassure varie du mat au brillant; en général elle est unie, égale, grenue ou conchoïde.

L'oxide brunâtre produit ordinairement d'assez bon fer, et d'une fusion très facile. Plusieurs échantillons contiennent du manganèse. Il est mélangé de silice, de chaux et d'alumine dans des proportions très variables. Communément on le trouve accompagné de quartz, de spath pesant, de spath calcaire, de pyrite.

On distingue encore des OXIDES DE FER TERREUX proprement dits. Ceux-ci diffèrent des oxides compactes en ce que les premiers sont peu onctueux au toucher, et qu'ils exhalent une odeur plus ou moins argileuse.

On peut diviser ces sortes de minerais terreux, relativement à leur forme, en deux variétés : *oxide de fer terreux en gros morceaux ou fragments, oxide de fer terreux argileux.*

Les analyses de ces minerais présentent un résultat remarquable, en ce qu'ils perdent par la calcination, en eau et en acide carbonique, de 0.12 à 0.18. M. Vauquelin, dans un ocre jaune qu'il a analysé, a observé une perte de 0.53.

On peut considérer ces minerais comme des

hydrates, et on les distingue facilement à la poussière jaune, ou d'un brun tirant sur le jaune, qu'ils donnent tous. Ils ne laissent pas que d'être encore assez riches, puisque l'on peut en retirer, par la voie sèche, de 0.38 à 0,57 de fer.

Le phosphate de fer est extrêmement fréquent dans ces minerais, et il rend le fer cassant à froid.

Les oxides terreux en gros morceaux se divisent en deux sous-variétés : *oxide terreux argileux* et *oxide limoneux*.

L'*oxide terreux argileux* est doux au toucher, peu dur; il happe à la langue, et fait effervescence avec les acides. Souvent on y aperçoit des empreintes de plantes et des débris de coquillages. Il est aussi quelquefois mélangé de sulfure de fer, de sulfure de plomb, de sulfure de zinc, de zinc carbonaté, de sulfate et de phosphate de chaux et de fer. Toutes ces substances vicient plus ou moins le fer qu'on retire de ces minerais.

Les couleurs qu'affecte principalement l'oxide terreux argileux sont le brun, le rubigineux ou le jaune; il est en masses compactes, schisteuses, lamellaires, bacillaires (c'est-à-dire en baguettes, de *bacillus*), ou géodiques.

Les géodes sont de différentes grandeurs, et leurs formes sont irrégulières; leur surface est souvent raboteuse et recouverte de sable qui y adhère; leur cassure est brune, et plusieurs d'entre elles renferment de l'argile dans leur intérieur. C'est dans ces sortes de minerais qu'on voit les morceaux auxquels on a donné le nom d'*aétites*, ou pierres d'aigle.

Les *oxides limoneux* diffèrent peu, pour leur composition, des oxides argileux. Ces minerais, extraits ordinairement dans les marais de la Suède

et du nord de l'Europe, contiennent presque tous du phosphate de fer, qui rend cassant à froid le métal que l'on en retire.

Nous n'avons en France que peu de localités où ce minerai soit susceptible d'une exploitation profitable. Il en est cependant quelques unes; et comme dans les départements où il se présente on est privé d'autres minerais en général, il devient important de connaître les ressources qu'il peut offrir. Je m'étendrai donc sur cette sorte de mine au-delà de ce qu'on pourrait attendre de sa valeur comparée.

Werner a divisé la mine limoneuse en trois sous-espèces : la mine *des marais*, la mine *des lieux bourbeux*, et celle des *gazons* ou *des prairies*.

On exploite la mine *des marais* dans tous les espaces couverts d'eaux ferrugineuses qui laissent déposer l'oxide de fer qu'elles entraînent. En Angermanie et en Dalécarlie il y a de grands lacs d'où on extrait ce minerai tous les vingt ou trente ans. Il est toujours jaune au sortir de l'eau; il a peu de consistance, mais il ne tarde pas à durcir et à brunir en séchant.

Les sous-espèces établies par Werner diffèrent si peu par leur aspect, qu'il est difficile de les distinguer. Le traitement métallurgique est d'ailleurs le même pour toutes.

La mine des gazons est formée de dépôts abandonnés par les eaux, et recouverts ensuite de terre végétale, sur laquelle l'herbe a pu croître et donner naissance à des prairies.

De l'oxide de fer terreux en fragments.

Ce minerai, tel que nous l'indiquons ici, et tel

que nous allons le décrire, comprend tous les oxides qui sont en fragments de différentes formes, et que l'on exploite sous la terre végétale, sous des couches de sable, et quelquefois entre des couches calcaires. Haüy distinguait parmi ces minerais la sous-variété globuliforme et pulvérulente du fer oxidé rubigineux, et Werner distingue le fer réniforme, le fer pisiforme, appartenant à son espèce fer argileux.

L'oxide de fer terreux en fragments offre deux sous-variétés bien tranchées par leur aspect : oxide en fragments *agglutinés*, oxide en fragments *séparés*.

L'oxide de fer terreux en fragments agglutinés est en couches, en masses, ou en morceaux séparés plus ou moins gros. Il est formé de fragments ronds ou irréguliers, liés par une espèce de pâte ou de gluten plus ou moins dur. Plusieurs de ces glutens ont une cassure unie, conchoïde; les grains se brisent avec la pâte, et paraissent former avec elle un tout d'égale dureté. Dans d'autres échantillons les grains se séparent des fragments quand on les brise, et dans la pâte on aperçoit les cavités correspondantes à la place qu'ils occupaient. On trouve enfin de ces glutens qui s'effleurissent à l'air, et alors les fragments se séparent naturellement par suite de cette efflorescence.

Tous ces minerais donnent beaucoup d'eau et d'acide carbonique par la calcination; l'oxide y est d'ailleurs combiné avec une quantité de silice assez considérable; la chaux s'y trouve accidentellement.

La sous-variété du fer oxidé en fragments séparés constitue une des mines le plus généralement exploitées en France dans les plaines basses.

Elle se trouve en fragments anguleux, arrondis, tuberculeux, réniformes, sphériques, lenticulaires : tous ces fragments sont plus ou moins gros. On la trouve encore en grains fins, arénacés ou terreux. Sa couleur varie : elle est tantôt rouge, brune, rubigineuse, jaune. Peu de minerais se présentent sous des aspects plus variés. En général, pour l'aliment du même fourneau, on extrait jusqu'à douze et quatorze variétés, toutes distinguées entre elles. On les mélange en diverses proportions, dans la vue d'une amélioration dans le produit. Souvent ce mélange est utile ; quelquefois il n'a aucun résultat.

DE L'HABITAT DES MINERAIS DE FER.

1. *Minerais de fer oxidulé.*

C'est ordinairement en couches, ou en filons, ou en masses, dans l'espèce de roches que les géologues regardent comme primitive, que se trouvent les minerais de fer oxidulé ou métalloïde. L'exploitation s'en fait habituellement dans les montagnes talqueuses et magnésiennes, composées de serpentines, de talc, de jade, de stéatite, d'asbeste, de schiste micacé, de gneiss, de hornblende ou amphibole, de calcaire, de grenat, de strahlstein ou actinote aciculaire, etc. On en rencontre encore dans des roches stratiformes, que Werner range parmi les terrains secondaires ou de troisième classe, et qui sont composés de basalte et de grunstein, etc., ou d'un mélange de feld-spath et de horn-blende.

Le fer oxidulé arénacé se trouve dans les sables, tantôt sur le bord de la mer, tantôt sur la

rive des torrents ou des fleuves. Tout porte à penser que l'oxidule arénacé que l'on exploite près de Naples, sur le bord de la mer, doit sa génération à la pulvérisation des produits volcaniques.

Le fer oxidulé est exploité en un grand nombre de lieux : en Sibérie, en Russie, en Dalécarlie, en Suède, en Hongrie, en Bohême, en Piémont, en Italie, à l'île d'Elbe, en Chine, etc.

2. *Minerais de fer spathique.*

On trouve assez communément le fer spathique en couches, souvent aussi en filons et en masses; ses gîtes sont ordinairement dans les roches du premier ordre, composées de gneiss, de schistes micacés, de calcaire primitif. Quelquefois encore on le rencontre dans le même gîte que le fer métalloïde; cependant ces deux sortes de gîtes sont habituellement distincts.

Le fer spathique s'exploite en Sibérie, en Hongrie, en Styrie, en Carinthie, dans le Tyrol, en Saxe, en Bohême, dans la Hesse, à Nassau-Siégen, et dans plusieurs parties de l'Allemagne. Il s'en exploite en France, dans les Pyrénées, dans le département de l'Isère, en Piémont, dans le ci-devant département du Mont-Blanc. Ce minerai est en général très recherché, à cause de la bonté du fer et de l'acier que l'on en obtient, et de la facilité de son traitement.

3. *Oxides de fer mêlés d'oxidule.*

On trouve constamment cette variété de fer

oxidé avec les fers oxidulés : c'est, dans un grand nombre de circonstances, l'état sous lequel on exploite le fer oxidulé, que l'on traite pour en retirer le fer qu'il contient. Les mines si renommées de l'île d'Elbe, de Suède, de Framont, ne sont en grande partie que des oxides mêlés d'oxidules. Dans ces mines, l'on trouve à l'état de cristallisation de superbes échantillons d'oxidules, qui ornent les cabinets d'histoire naturelle et les collections. Le gisement de cette variété peut donc être considéré comme le même que celui du fer oxidulé.

4. *Fers oxidés, concrétionnés ou mamelonnés.*

Les oxides mamelonnés forment communément des nids, des rognons, déposés soit dans les gîtes de minerais de fer, soit dans des terrains argileux, ou même dans des terrains éboulés et transportés. Lorsque cette variété de fer se trouve dans des gîtes d'autres minerais, elle s'y rencontre ordinairement sous une couleur rouge ou brune, selon l'espèce de minerais de fer dans lesquels les nids existent. Assez ordinairement l'oxide concrétionné rouge se trouve mêlé avec le fer oxidulé, et l'oxide concrétionné brun avec le fer spathique. Les cavités sont tapissées de ces oxides. Ils y sont en stalactites ou en masses globuliformes, dont l'intérieur est mamelonné.

5. *Oxides compactes.*

Ceux-ci sont en couches, en filons, en masses et en nids ou rognons. L'oxide rouge se trouve

le plus ordinairement dans les terrains primitifs; il accompagne le fer métalloïde, avec lequel il est mélangé. Une grande partie des oxides bruns sont des décompositions des fers spathiques. Dans le plus grand nombre de cas, on confond la variété de fer spathique brun avec la sous-variété d'oxide compacte brunâtre; et, dans cette circonstances, qui est le cas le plus général, cet oxide a le même gisement que les fers spathiques.

Quant aux nids ou rognons que l'on trouve épars dans des terrains argileux ou de transport, ce sont ou des oxides charriés et déposés, ou des fragments d'oxide mamelonnés qui ont perdu leur caractère par l'effet du frottement.

On exploite des oxides rouges en Sibérie, en Saxe, en Bohême, au Hartz, dans la Hesse, en France; et des oxides bruns en Sibérie, en Allemagne, en Saxe, en Thuringe, en Hongrie, dans le Tyrol, en Styrie, dans le Palatinat, en France, etc.

6. *Fers argileux.*

Ces sortes d'oxides se trouvent ordinairement en couches ou en masses; le plus souvent on les rencontre dans les terrains stratiformes ou secondaires, accompagnant les schistes argileux ou bitumineux. Il y a de très grandes variétés dans les couches de ces minerais; quelques unes sont très épaisses. Toutes ces mines paraissent résulter de la décomposition des minerais déposés dans les terrains primitifs. Le fer argileux bacillaire se rencontre presque constamment dans le voisinage de quelque feu souterrain. Werner pense que c'est à l'action du feu qu'est due la forme de baguettes qu'il affecte.

Ces oxides sont mélangés souvent ou accompagnés de quelques autres minerais métalliques, tels que l'oxide de zinc, les sulfures de plomb, même les sulfures de fer, qui donnent au fer qu'on extrait de ces mines différents défauts. Ces minerais sont exploités en Norwége, en Russie, en Pologne, en Saxe, en Bohême, en Bavière, en Westphalie, en Franconie, en Italie, en Souabe, en Suisse, en Angleterre, en France, dans le pays de Liége, aux environs de Namur, près de Saar-Bruck, etc.

7. *Oxides de fers limoneux.*

Les oxides de fer limoneux se trouvent en amas dans des lacs, des étangs, des marais, ou dans les plaines basses. Ils ont été déposés sur le sol, recouverts d'eau dans les endroits où ce liquide existe encore, ou sur le sol, recouverts de sable, de concrétions pierreuses, ou de terre végétale.

Assez ordinairement ces minerais sont mélangés de débris de végétaux ou de coquillages. Dans les plaines où le terrain sec les recouvre, ils portent cependant encore les caractères des mines d'alluvion ou de transport. On exploite ces minerais, en plus ou moins grande quantité, dans presque tous les pays de l'Europe.

8. *Fers oxidulés terreux en petits fragments.*

Cette variété d'oxide terreux se trouve le plus ordinairement en masses ou en amas dans des terrains d'alluvion. Souvent elle est sur de la pierre calcaire, quelquefois dans des fentes ou crevasses.

Elle est recouverte de sable ou de terre végétale ; elle se rencontre aussi dans de grandes cavités, entourée de pierres calcaires ; dans plusieurs gîtes, le minerai est stratifié avec des couches d'argile ; dans d'autres, il est mélangé de débris de végétaux, de coquillages et de terres, qui nécessitent un lavage préliminaire lors du traitement.

C'est la variété de minerai la plus généralement exploitée en France ; elle l'est aussi beaucoup dans le reste de l'Europe.

EXAMEN DES MINERAIS DE FER.

Détermination de leur nature et de leur degré de richesse, au moyen des essais par la voie sèche et par la voie humide.

1. *Par la voie humide.*

Cette sorte d'essai est toujours la plus rigoureuse, celle qui offre les résultats les plus exacts ; c'est par ce moyen que l'on isole dans un échantillon toutes les substances que l'on a intérêt de connaître, et que l'on en détermine la nature et les proportions.

Les substances qui jusqu'à présent ont été trouvées dans les minerais de fer, soit qu'elles y fussent à l'état de combinaison, ce qu'il est souvent très difficile de décider, soit qu'elles fussent seulement à l'état de mélange, sont le fer, le manganèse, le cuivre, le plomb, le zinc, l'arsenic, le chrôme, le titane, la silice, la chaux, l'alumine, la magnésie, la baryte, le soufre, le phosphore, l'oxygène, l'acide carbonique et l'eau.

Nous avons un grand nombre d'analyses très bien faites, par des hommes justement célèbres dans l'art de la docimasie. Vauquelin, Klaproth, vers la fin du siècle dernier, et dans des temps plus modernes, MM. Collet Descotils, Daubuisson, Berthier, Guényveau, et tant d'autres ingénieurs ou élèves des mines qui ont marché avec un si rare bonheur sur les traces de ces maîtres, ont fait faire à l'analyse des minerais de fer des progrès bien remarquables. Il est fâcheux cependant que de si beaux travaux n'aient pas une application plus directe à l'art de l'exploitation. Le plus grand nombre des analyses publiées ont été faites sur des échantillons choisis, tandis que le fondeur doit opérer sur un mélange de masses qui contiennent, outre une grande variété d'échantillons, toutes les matières de la gangue qui y sont restées adhérentes.

Métallurgiquement parlant, et pour avoir un résultat applicable à l'exploitation des minerais de fer, et plus conforme aux besoins des travaux en grand, il conviendrait donc de prendre le sujet de ses essais sur le tas même que l'on va fondre ; de prendre même des échantillons sur un grand nombre de points différents du même tas : ces divers échantillons, étant pulvérisés ensemble et bien mélangés, offriraient une masse où devrait se trouver le terme moyen de composition.

Les essais par la voie humide exigent toute l'attention du chimiste. Peu de personnes sont capables, quelle que soit l'étendue de leurs idées théoriques, d'obtenir des résultats dont l'exactitude puisse assurer la marche d'une exploitation : car de fausses notions sur la composition des minerais, et par conséquent sur la nature du trai-

tement et des fondants qui leur conviennent, peuvent avoir des suites funestes. Le fabricant prudent préfèrera donc toujours de soumettr ces examens préalables à un docimasiste exerce. Cette considération bornera beaucoup ce que je pourrais dire ici des moyens d'analyse par la voie humide. On ne peut isoler ces moyens pour les appliquer spécialement au fer : en entreprenant l'essai d'un minéral quelconque, il faut agir dans l'hypothèse où l'on pourrait y rencontrer un grand nombre d'autres substances en combinaison. Toutes les propriétés de ces corps, le jeu de toutes les affinités, les difficultés de toute espèce, vont donc tout d'abord exiger la prévision et l'adresse du manipulateur. Il est impossible de restreindre ses idées à une simple formule applicable à une extraction particulière, puisque le concours d'un grand nombre de substances étrangères au fer vient compliquer la question. Il faudra donc embrasser pour ainsi dire la science tout entière de l'analyse minérale. Ce n'est pas dans un livre de la nature de celui-ci qu'on doit chercher des préceptes aussi étendus. Ou le fabricant est chimiste, et dans ce cas il en sait plus d'avance que je ne pourrais en dire; ou il est resté étranger à cette étude, et dans ce dernier cas c'est dans les traités de chimie théorique qu'il doit puiser tout ce que l'on peut apprendre dans le meilleur des livres : heureux s'il peut joindre à cette étude la pratique d'un laboratoire!

Mais fort heureusement il est rare que, pour ce qui est purement de l'extraction du fer de ses minerais, il soit absolument nécessaire de connaître avec exactitude la nature et les proportions de tous les éléments qui s'y rencontrent. L'essai par la voie sèche, beaucoup plus facile,

plus simple, puisqu'il est borné à la considération du fer à extraire, est suffisant dans le plus grand nombre de cas. Nous nous étendrons donc davantage sur cette autre classe d'essais.

2. *Par la voie sèche.*

On entend par là l'exposition du minerai à une température convenable, dans un creuset, avec ou sans fondant, pour le réduire, le fondre, et en séparer en un culot le fer qu'il contient.

Le minerai doit être pilé dans un mortier de fer, et finement tamisé; il convient de recommencer le pilage pour les parties qui n'ont pu d'abord passer par le tamis, afin d'opérer sur la masse entière de l'échantillon que l'on soumet à l'essai.

Le pesage de la matière mise en expérience doit être fait avec beaucoup d'exactitude, et il est bon de ne pas opérer sur moins de 25 grammes à la fois.

L'objet le plus essentiel peut-être pour la réussite de ces travaux est le choix des creusets. Ceux connus dans le commerce sous le non de *creusets de Hesse* sont les meilleurs pour les minerais de fer : ils ont la forme d'une pyramide tronquée, posée sur sa troncature; l'orifice est triangulaire et la base circulaire. Les petites piles dites de cinq sont ordinairement suffisantes pour ces essais.

Ces creusets se placent sur des plateaux cylindriques de terre très réfractaire, auxquels on donne le nom de *fromages*. A défaut de ces plateaux, on peut employer un autre creuset. Ceux qui ont déjà servi sont très propres à cet usage.

L'intérieur des creusets dans lequel on met le minerai qui doit être fondu est ordinairement brasqué.

On appelle *brasque* une couche de charbon d'une certaine épaisseur, dont on couvre la surface intérieure du creuset, afin d'empêcher que le minerai, en se fondant, ne l'attaque et ne l'entraîne dans sa fusion, ou que la terre du creuset, mêlée à celle du minerai fondu, n'occasione une masse de scories plus grande que celle qu'on aurait obtenue sans cette addition.

Pour brasquer, on met peu à peu, dans les creusets, du poussier de charbon que l'on a délayé avec un peu d'eau pure, ou une légère dissolution de colle ou de gomme. Chaque couche de charbon est battue, comprimée avec le manche d'un marteau ou autre pilon. On creuse ensuite avec un couteau un vide dans ce charbon comprimé, et dans ce vide on place le minerai avec le flux qui doit le faire fondre.

Par-dessus cette matière on met ensuite du poussier de charbon ; et on recouvre le creuset, soit avec un petit chapeau de terre infusible, ou avec un second creuset plus petit que le premier. On lute exactement ce couvercle avec de la terre grasse, pour éviter l'accès de l'air et la combustion du charbon.

Le creuset est fixé, à l'aide de bonne terre réfractaire, sur le fromage qui lui sert de support.

Une bonne forge, munie d'un soufflet de cuir, est souvent suffisante pour l'essai des minerais de fer. Dans ce cas on élève avec des briques, autour de l'ouverture de la tuyère, sur l'âtre de la forge, un encaissement en briques. Le creuset, sur son support, est placé au centre de l'espace ; on l'entoure de charbon, que l'on laisse allumer

seul. D'abord on donne le vent lentement, puis on l'augmente par degrés jusqu'à ce que le creuset ait essuyé toute la température qu'il doit éprouver. On le laisse refroidir un peu, on le retire, et on le laisse totalement refroidir pour le casser et en retirer le culot métallique formé.

Les forges présentent pour ces essais d'assez grands inconvénients, et, même avec de l'habitude, on n'y réussit pas toujours, principalement avec les minerais d'une fusion difficile. Le creuset y reste exposé à une température inégale, qui en occasione souvent la rupture; on n'est pas le maître de graduer facilement la chaleur, en sorte que les essais ne sont pas comparables sous le rapport de la fusibilité des minerais.

Les fourneaux construits exprès pour ces sortes d'essais doivent donc être préférés aux forges. Il serait à désirer qu'il y en eût un dans chaque usine, afin de se procurer des données assez exactes sur la fusibilité des minerais que l'on y traite, et avoir ainsi un moyen de déterminer, dans tous les temps, ou les mélanges des minerais, ou ceux des terres les plus favorables à une bonne fusion, et les plus propres à produire une bonne fonte.

Les fourneaux d'essais dans lesquels on a obtenu les meilleurs effets sont principalement celui de l'ancien laboratoire de l'Ecole Polytechnique, au Palais Bourbon, et celui de la ci-devant école de Moustiers. Nous donnons un dessin de l'un de ces fourneaux, avec une explication détaillée. (Voyez *les planches*.)

Dans plusieurs circonstances, le minerai est fondu sans aucune préparation préliminaire; mais le plus souvent on le grille, et l'espèce de grillage qu'il subit dépend de sa nature et des substances avec lesquelles il est mélangé.

Lorsqu'il contient du soufre ou de l'arsénic, le grillage est très utile. A cet effet, on met le minerai dans un test à rôtir (espèce de creuset plat), et on l'expose ainsi à un feu gradué, que l'on augmente peu à peu jusqu'à faire rougir le creuset. On retourne continuellement le minerai, pendant cette opération, afin d'exposer toutes ses parties au contact de l'air, pour oxider et acidifier les dernières portions du soufre adhérent, et former de l'acide sulfureux qui se vaporise.

Quand le minerai ne contient que de l'eau, de l'acide carbonique ou de l'oxygène en excès, on le pulvérise et on le met dans un petit creuset; on recouvre celui-ci d'un second creuset un peu plus grand, on le place sur un fromage, et on l'expose, dans un fourneau ordinaire, à l'action d'un feu vif et fort. Il est rare qu'en vingt-cinq minutes le minerai ne soit pas grillé complétement. Un fourneau de cuisine suffit pour cette opération.

Dans l'essai, les minerais sont soumis à trois actions simultanées: 1° la désoxidation, 2° la fusion, 3° la séparation d'avec les terres de mélange ou de combinaison; de manière que le métal, dégagé de ses combinaisons ou de ses souillures, et se trouvant dans un état de fluidité, puisse se réunir et former un culot par le refroidissement. La désoxidation est, dans ce cas, l'effet du contact avec le charbon à une haute température. Celui-ci s'empare de l'oxygène uni au fer, et forme de l'acide ou de l'oxide carbonique. C'est assez ordinairement de la poussière de charbon que l'on mêle avec le minerai pulvérisé pour cet effet. Quelquefois aussi ce combustible se trouve mélangé ou combiné dans le flux ou fondant que

l'on emploie, ou enfin dans l'huile dont on imbibe le minerai.

La température doit être assez élevée pour que le fer ainsi désoxidé puisse entrer en fusion. Il faut d'ailleurs que les terres en mélange dans le minerai puissent aussi être fondues. Cette fusion peut être aidée par des agents particuliers, auxquels on a donné le nom de *fondants* ou de *flux*.

Le métal et les terres ainsi liquéfiées offrent deux liquides qui ont entre eux peu d'affinité, et qui se séparent naturellement en raison de la différence de pesanteur spécifique.

On a toujours considéré l'essai des minerais de fer comme le plus difficile, à raison de la haute température qu'il exige et qu'on ne parvenait pas constamment à produire.

Pendant long-temps on a ignoré le vrai mode d'action des différents flux, et, à raison des différents mélanges terreux qui se rencontraient dans les minerais, il arrivait souvent que le flux dont on faisait usage au hasard était le moins convenable à la fusion.

Les *flux* le plus ordinairement employés sont les flux *blanc* et *noir*. Le flux blanc est un mélange à parties égales de nitre et de tartre blanc. Ces deux substances pulvérisées et bien mélangées sont mises dans un grand vase ; on les allume avec un charbon embrasé : l'acide nitrique du nitre et l'acide tartrique du tartre réagissent l'un sur l'autre à la faveur de la chaleur, et se décomposent mutuellement. Lorsque la combustion a cessé, il ne reste ordinairement que de la potasse, souillée d'une petite portion de charbon.

Le flux noir est un mélange d'une partie de nitre et de deux de tartre : le tartre rouge suffit

dans cette circonstance. Ces deux substances, détonées et brûlées comme dans le cas précédent, laissent un résidu noir, qui est un mélange de potasse et de charbon.

Lorsque le mélange du tartre et du nitre n'a pas détoné préalablement, on lui donne le nom de *flux cru*.

Les deux premiers flux étant très hygrométriques, il convient de les conserver dans des flacons bien bouchés.

Plusieurs métallurgistes, ne jugeant pas que ces flux fussent assez puissants, en ont composé de plus ou moins compliqués. Schluter employait quatre espèces de flux pour fondre les minerais de fer.

I.

20 parties de tartre.
10 de nitre.
20 de fiel de verre.
5 de sable.
5 de poussier de charbon.

II.

20 de tartre.
10 de nitre.
20 de fiel de verre.
10 de sable.
10 de poussier de charbon.

III.

20 de tartre.
20 de nitre.
15 de fiel de verre.
10 de borax.
7. 5 de verre blanc.
7. 5 de chaux vive.
10 de charbon de bois.

IV.

30 de tartre.
15 de nitre.
5 de borax.
10 de potasse.
10 de sel marin.
10 de verre.
5 de chaux.
5 de poussier de charbon.

V.

Borrichius composait son flux de

90 de verre de plomb.
30 de tartre rouge.
10 de salpêtre.
5 de sciure de bois.

VI.

Le flux de Pelais était composé de

10 de fiel de verre.
10 de sel commun décrépité ou de potasse.

VII.

Crammer faisait usage d'un flux composé de

30 de flux blanc.
10 de verre d'une fusion facile.
5 de fiel de verre.
5 de poussier de charbon.

VIII.

Guyton de Morveau a composé un flux qui réussit bien et qui a pris son nom ; il est composé de

16 parties de verre pilé.
2 de borax calciné.
1 de poussier de charbon.

IX.

Kirwan a vanté un flux composé de

1.25 de chaux vive.
1.25 de fluate de chaux.
1.00 de charbon en poudre.

X.

Bergman conseillait de placer le minerai grillé dans une brasque de charbon, et de le couvrir de borax.

XI.

M. Chaptal a fait usage avec succès de

20 parties de borax calciné.
2 de chaux éteinte.
10 de nitre.

XII.

Swab employait un flux composé de

20 de flux noir.
10 de sel ammoniac.
10 de tartre.
10 de verre pilé.
5 de borax.
5 de poussier de charbon.

A l'école de Moustiers, on a voulu comparer avec attention l'effet de ces douze flux si différents. Pour cela, on a traité séparément 10 grammes de fer spathique avec chacun des flux. On a employé 20 grammes de chacun de ceux-ci. Les minerais mélangés avec les flux ont été mis dans des creusets brasqués et recouverts, puis chauffés, pendant une demi-heure de grand feu, dans un fourneau chauffant modérément.

Les flux de Guyton, de Chaptal, de Kirwan, de Bergmann, ont produit des culots bien formés et assez uniformes dans leur poids. Les flux de

Schluter, Pelais, Crammer, Swab ont donné des grenailles disséminées dans les scories. Le flux de Pelais a donné, parmi ses grenailles, un culot assez gros. Le flux de Borrichius, n° V, n'a produit qu'une quantité très petite de grenailles, parce que tout le fer était dissous dans les scories. Celui de tous ces flux qui paraît devoir être préféré, principalement quand on ne connaît pas encore la nature du minerai auquel on a affaire, est, à cause de l'action qu'il exerce sur toutes les terres, et de la simplicité de sa composition, celui de Bergmann; mais il convient de le mélanger avec le minerai et de l'imbiber d'huile pour fournir le charbon nécessaire à la désoxidation.

L'essai d'un minerai à l'aide d'un flux devient d'autant plus facile que ce fondant est plus actif; mais il laisse toujours le maître de forges dans l'incertitude sur la nature des substances terreuses contenues dans le minerai qu'il traite et sur celle des fondants qu'il convient d'y ajouter. Il vaut donc toujours beaucoup mieux que l'on s'attache à se procurer, dans le fourneau d'essai, une chaleur suffisante pour fondre le minerai sans autre addition que celle de charbon.

Lorsque l'échantillon à essayer est composé d'oxide ou d'oxidule pur, on peut, en l'imbibant d'huile après l'avoir pulvérisé, le fondre dans un creuset brasqué, et l'on obtient un culot de fer qui indique assez exactement le poids du métal pur.

Si les terres qui sont combinées ou mélangées avec l'oxide métallique sont dans de certaines proportions convenables pour la fusion, on peut encore employer le même moyen; mais, quand le minerai est de lui-même infusible, il faut y ajouter des terres qui en changent la nature.

Dans la détermination des terres qu'il faut ajouter, on peut, si l'on connaît préalablement celles que contient le minerai, partir de ce principe général sur la fusibilité des terres, que la silice, l'alumine et la chaux à parties égales se fondent bien; de même que parties égales de silice, de chaux et de magnésie; de silice, d'alumine et de magnésie. D'après cette vue, l'on pourra toujours faire le complément de la terre manquante dans la composition.

Si l'on excepte les fers spathiques et plusieurs fers oxidulés qui sont combinés ou mélangés avec de la magnésie, presque tous les minerais de fer contiennent de la silice, de la chaux et de l'alumine; et ce n'est que relativement à l'excès de l'une sur l'autre de ces terres que les métallurgistes ont adopté la classification de *mine siliceuse*, *mine calcaire*; *mine argileuse*.

Lorsque les minerais ne contiennent qu'une ou deux de ces terres, ou lorsqu'une d'elles y domine considérablement, il est rare qu'ils soient fusibles sans addition.

Ordinairement on parvient à fondre les mines siliceuses en leur ajoutant de la marne, on fond les mines calcaires en leur ajoutant de l'argile, et l'on fond les mines argileuses en leur ajoutant de la pierre calcaire; mais il y a pour chacun de ces minerais une proportion d'addition qui est la plus favorable à leur fusion, et cette proportion, qui est celle qui approche le plus de l'égalité des poids entre ces trois terres, peut se déterminer par le tâtonnement.

Lorsque l'on connaît la terre dominante dans le minerai, il est facile de déterminer quel fondant il convient de lui ajouter; mais, lorsque cette terre n'est pas connue, il faut faire trois

essais séparés de l'échantillon, 1° avec de la marne, 2° avec de l'argile, 3° avec de la silice. On cherchera plus tard les meilleurs proportions respectives.

Dans la ci-devant école pratique de Moustiers, on s'est occupé, avec beaucoup d'attention, de ces sortes de combinaisons terreuses avec différents minerais.

Sur trente-sept échantillons essayés, vingt-sept ont très bien fondu sans addition; savoir, huit de fer oxidulé, dont un cristallisé de l'île d'Elbe, un de fer écailleux, deux de fer aimantaire du même endroit, un cristallisé et un amorphe du Val-d'Aost, deux amorphes et compactes de Suède; cinq de fer spathique de Saint-George-de-Huretière, d'Allevard, de Styrie, de Carinthie; deux d'oxide oxidulé, l'un mélangé d'oxide rouge de l'île d'Elbe, l'autre d'Eisenrahm de Framont; quatre oxides mamelonnés, l'un rouge de Rothau, les trois autres brun et noir des Pyrénées et du comté de Juliers; trois d'oxide compacte des départements de l'Aude, de l'Arriége et de la Sarthe; un d'oxide terreux caverneux en masse; un d'oxide terreux en fragments agglutinés du département de Sambre-et-Meuse; trois d'oxides terreux en fragments séparés, de la Haute-Marne, de la Haute-Saône et de la Côte-d'Or. Ces vingt-sept échantillons, ayant été analysés par la voie humide, ont donné des proportions des trois terres, silice, chaux, alumine, peu différentes. Plusieurs échantillons de fer oxidulé n'ont donné que quelques centièmes de silice, et ceux de fer spathique ont donné de la magnésie, de la silice et de la chaux en très petite quantité.

Dix échantillons, n'ont pas fondu, parce que les terres qu'ils contenaient n'étaient pas en pro-

portion convenable. On leur a ajouté d'autres terres nouvelles : alors ils sont facilement *entrés* en fusion.

TABLEAU des essais faits par la voie sèche de minerais qui n'ont pu fondre qu'au moyen d'une addition de nouvelles terres.

Gisements.	Variétés.	Terres existantes dans les minerais.			Terres ajoutées.			Fer obtenu.
		Silice.	Chaux.	Alumine.	Silice.	Chaux.	Alumine.	
Framont.	Oxide oxidulé.	0.70	Trace.			0.40	0.20	0.34
Sansac (Charente).	Oxide oxidulé.	0.250	Trace.	0.016		0.220	0.08	0.506
Châlet (Allier).	Oxide compacte.	0.430	0.05			0.300	0.300	0.418
Indre.	Oxide terreux comp.	0.300	0.008	0.080		0.200	0.200	0.381
Eure.	Oxide terr. jaune.	0.150		0.022		0.100	0.100	0.514
Orne.	Idem caverneux.	0.048	Trace.	0.004		0.060	0.020	0.574
Ardennes.	Oxide terreux en fragments agglutinés.	0.104	0.206	0.048			0.020	0.256
Indre.	Idem.	0.154	0.006	0.070		0.10		0.402
Idem.	Idem.	0.110		0.088		0.10		0.460
Côte-d'Or.	Oxide terreux en fragments séparés.	0.052	0.150	0.0011	0.060		0.020	0.400

On voit, d'après ces essais par la voie sèche, qui ont été faits sur des échantillons pris au hasard, que, dans le plus grand nombre des échantillons, c'était la silice qui dominait, et que le fondant naturel à ajouter était un mélange de chaux et d'alumine, connu sous le nom de marne; que, dans quelques autres, les terres dominantes étaient un mélange de silice et d'alumine, connu sous le nom d'argile, et que la chaux était par conséquent le fondant naturel à y ajouter; enfin qu'un échantillon offrait pour terres dominantes de la silice et de la chaux, et que son fondant naturel était un mélange de silice et d'alumine.

Nous terminerons cette première partie de l'ouvrage en présentant un tableau de résultats d'essais de minerai de fer faits par la voie humide.

I. FER OXIDULÉ OU METALLOIDE.

Gisements.	Variétés.	Oxide de Fer.	Oxide de Manganèse.	Perte par la calcination.	Silice.	Chaux	Alum.	Fer par la voie sèche.	Ou se trouvent les analyses.
Elbe, cap Corse.	Cristallisée.	0.67 0.55	0.23	0.024	0.01 0.028	0.02 0.12	0.06	0.32 0.36	Registres du conseil des mines.
Id. cap Calamite.	Aimantaire.	0.924		0.026	0.026	0.01	0.014	0.72	
Elbe.	Écailleuse.	0.880		0.020	0.020	0.020	Trace.	0.68	École pratique de Moustiers.
Val-d'Aoste.	Amorphe.	0.990			0.020			0.76	
Cap Calamite.	Aimantaire.	0.694		0.026	0.084	0.014	0.0520	0.549	
Saint-Quai près Châtelaudren.	Arénacée pure.	0.440	0.015	Oxide de titane.			0.54	0.450	Journal de physique, vol. 16.
	Triée au barr.	0.86	0.020	Oxide de titane.			0.08		
Elbe.	Cristallisée.	0.950		0.20	0.20	0.001		0.720	

II. FER SPATHIQUE.

Gisements.	Variétés.	Eau et acide carbon.	Oxide de Fer.	Oxide de Manganèse.	Magnésie.	Silice.	Chaux.	Fer par la voie sèche.	Ou se trouvent les analyses.
St.-George de Huretière.	Couleur blanche, grise ou jaunâtre; les échantillons étaient frais et non altérés.	0.355	0.551	0.080	0.0075	0.016	0.010		École pratique de Moustiers.
Piémont.		0.330	0.563	0.022	0.071	1.015		0.413	
Allevard.		0.350	0.544	0.028	0.055			0.416	
Idem.		0.365	0.487	0.180	0.130			0.365	
Isère, montagne de la Citre.		0.375	0.500	0.010	0.210		0.005	0.370	Registre du conseil des mines.
Idem, de Pagne du Palot.		0.340	0.590	0.015	0.056			0.430	
Styrie.		0.345	0.620	0.010	0.015	0.01			
Idem.		0.330	0.523	0.048	0.044	0.08			
Idem.		0.316	0.680	0.035	0.013				
Idem.		0.336	0.620	0.044	0.020	0.01			Journal des Mines, n° 124.
Allevard.		0.365	0.490	0.005	0.110	0.02			
Idem.		0.345	0.520	0.120	0.028	0.01			
Nassau-Siegen.		0.345	0.501	0.073	0.032	0.03			
Baigory.		0.370	0.600	0.015	0.040				

Idem.	Couleur blanche, grise ou jaunâtre; échantillons frais et non altérés.	0.340	0.615	0.005	0.038	0.01				Journal des mines, n° 124.
Arriége, la Saraoute.		0.310	0.650	0.010	0.018					
Pyrénées-Orientales.		0.345	0.600	0.045	0.015					
Sibérie.		0.370	0.520	0.002	0.110	0.020				
Bendorf.		0.360	0.490	0.090	0.031	0.01	0.004			
Envoyé par Bergmann à Guyton.			0.485	0.018	0.019	0.025	0.005			
Dankerode.		0.360	0.575	0.035			0.0125			Klaproth, Journal de phys., t. 71.
Baireuth.		0.350	0.580	0.0425	0.0075		0.005			
Not.-Dame-des-Prés.	Couleur brune; échantillons paraissant décomposés à l'air.	0.120	0.675	0.020	0.010	0.175				École de Moustiers.
La Valpeline.		0.070	0.734	0.076		0.128				Registre du conseil des mines.
Styrie.		0.160	0.660	0.050	0.020	0.01	0.03			
Alpes.		0.140	0.840	0.010		0.01				
Isère, Sainte-Agnès.		0.130	0.810	0.020		0.015	0.01			Journal des mines, n° 124.
Montagne de Rancie.		0.085	0.800	0.060		0.025	0.015			
Biscaye.		0.070	0.860	0.020		0.030				
Carinthie.		0.210	0.720	0.060			0.010			
Sibérie.		0.130	0.820	0.010		0.02	0.010			
St.-George de Huretière.	Les échantillons avaient été grillés depuis longtemps.	On n'a pas calciné avant l'analyse.	0.794	0.138	0.008	0.012	0.040	0.590		École pratique de Moustiers.
Idem.			0.818	0.124	0.006	0.030	0.020	0.580		
Idem.			0.810	0.147		0.010	0.033	0.575		
Allevard.			0.842	0.115	0.020		0.027	0.593		

III. OXIDE DE FER MÊLÉ D'OXIDULE.

Gisements.	Variétés.	Perte par la calcination.	Oxide de fer.	Silice.	Chaux.	Alumine.	Magnésie.	Fer par la voie sèche.	Où se trouvent les analyses.
Ile d'Elbe.	Oxide rouge et oxidule.	0.024	0.868	0.038	0.005	0.000	0.005	0.676	École pratique des mines de Moustiers.
Framont.	Eisenrahm.	0.050	0.840	0.070	0.012	0.020		0.665	
Idem.	Oxide rouge et oxidule.	0.000	0.440	0.540	Trace.	0.000		0.340	
Sansac (Aveyron).	Oxide rouge et brun et oxidule.	0.050	0.672	0.250	Trace.	0.016		0.506	

IV. MINES DE FER CONCRÉTIONNÉ.

Gisements.	Variétés.	Perte par calcination.	Oxide de fer.	Oxide de manganèse.	Silice.	Chaux.	Alumine.	Magnésie.	Perte.	Fer par la voie sèche.	Où se trouvent les analyses.
Rothau.	Rouge.	0.042	0.914		0.020				0.024		École pratique des mines de Moustiers.
Idem.	Fibreuse.	0.040	0.908		0.038				0.014	0.682	
Arriége.	Noire.	0.100	0.702	0.160	0.040	Trace.	Trace.	Trace.	0.018	0.502	
Vic-dessos.	Brune.		0.950		0.034	0.002	0.006		0.018	0.680	
Comté de Juliers.	Jaune.	0.120	0.792		0.048	0.014			0.026		
Styrie.	Brune.		0.850	0.017	0.110	0.005		0.03			

V. OXIDE DE FER COMPACTE.

Gisements.	Variétés.	Perte par calcination.	Oxide de fer.	Oxide de manganèse.	Silice.	Chaux.	Alumine.	Fer par la voie sèche.	Où se trouvent les analyses.
La Voulte (Ardèche).	Rouge compacte.		0.780	0.120	0.03		0.020	0.653	Registre du conseil des mines.
Idem.	Rubigineux.		0.880	0.030	0.06		0.030	0.620	
Nassau-Saarbruck.	Brunâtre.		0.905		0.095			0.640	
Delle (Haut-Rhin).			0.920		0.030	0.020		0.545	
Atos (Arriége).	Brun.	0.102	0.850	0.015	0.017	0.008		0.628	École de Moustiers.
La Sarthe.	Pecherz.	0.132	0.810		0.026	0.002	0,008	0.602	
Châlet (Allier).	Rouge.	0.056	0.492		0.430	0.050		0.418	
S.-Pancrais (Moselle).	Rubigineux.		0.800 0.750		0.125 0.140		0.075 0.010	0.545 0.545	Reg. du cons. des mines.
Ouette (Hte-Saône).	Rouge.	0.062	0.920		0.080			0.702	

VI. OXIDE DE FER TERREUX EN FRAGMENTS.

Gisements.	Variétés.	Perte par calcination.	Oxide de fer.	Oxide de manganèse.	Silice.	Chaux.	Alumine.	Fer par la voie sèche.	Ou se trouvent les analyses.
Indre.	Compacte jaune.	0.160	0.486		0.300	0.008	0.08	0.38	École de Moustiers.
Eure.	Idem.	0.124	0.690		0.150		0.022	0.514	
Namur.	Idem gris noir.	0.114	0.254		0.480	0.056	0.072		
Orne.	Caverneux.	0.180	0.880		0.148	0.019	0.076	0.560	
	Rubigin. brun.	0.140	0.730	0.016	0.048	Trace.	0.004	0.574	
	Ocre jaune.	0.530	0.300		0.020		0.150		Vauquelin, registre du cons. des mines.
Vallée des Arques. (Lot.)	Tubéreuse.	0.150	0.805	0.005	0.050		0.010	0.575	Journal des mines, n° 159.
		0.145	0.805		0.050		0.010	0.575	
	Mamelonnée.	0.155	0.715	0.070	0.055		0.015	0.510	
		0.118	0.747		0.130			0.530	
Gallignée.	Masse compacte.	0.115	0.605	0.010	0.250		0.020	0.440	Berthier.

VII. MINE LIMONEUSE.

Gisements.	Variétés.	Eau.	Oxide de fer.	Oxide de manganèse.	Acide phosphorique.	Analyste.
Les prairies.		0.23	0.66	0.015	0.08	Klaproth, Journal de physique, tom. 71.

VIII. FER OXIDÉ TERREUX EN FRAGMENTS AGGLUTINÉS.

Gisements.	Variétés.	Perte par calcination.	Oxide de fer.	Silice.	Chaux.	Alumine.	Fer par la voie sèche.	Ou se trouvent les analyses.
Département des Ardennes.	Pâte jaune, pet. grains.	0.272	0.328	0.104	0.206	0.048	0.256	École pratique de Moustiers.
Ci-devant Sambre-et-Meuse.	Pâte et grains rouges.	0.036	0.782	0.050	0.084	0.036	0.618	
Indre	Pâte jaune, gr. ronds.	0.138	0.628	0.154	0.006	0.070	0.402	
	Grains pecherz.	0.166	0.640	0.110		0.088	0.460	
Laval.	Dans de l'argile.	0.154	0.340	0.125		0.170	0.390	Berthier.

IX. FER OXIDE TERREUX EN FRAGMENTS SÉPARES.

Gisements.	Variétés.	Perte par calcination.	Oxide de fer.	Silice.	Chaux.	Alumine.	Magnesie.	Fer par la voie sèche.	Ou se trouvent les analyses.
Bedfort.	Grains ronds.		0 792	0.062		0.092			Registre du conseil des mines.
Idem.	Grains ronds.	0.06	0.480	0.150		0.300	Trace.		
Côte-d'Or.	Anguleuse.	0.230	0.550	0.052	0.150	0.001	Trace.	0.400	École de Moustiers.
Saint-Dizier (H.-Marne).	Brun mal lavé.	0.186	0.670	0.086	0.012		0.0017	0.495	
Haute-Saône.	Plate anguleuse.	0.120	0.510	0.274	0.002	0.070		0.362	
Côte-d'Or.	Petits grains.	0.160	0.600	0.128	0.014	0.080	Trace.	0.440	
Bellaigue.	Grains ronds bruts.	0.155	0.376	0.250		0.215		0.267	Berthier.
Idem.	Idem lavés.	0.150	0.575	0.120		0.155		0.410	
St-Maurice.	Masse irrégulière.	0.128	0.492	0.170		0.210		0.362	Klaproth.
Hogau.		0.145	0.530	0.230	0.065	oxide de mang.		0.001	

FIN DE LA PREMIÈRE PARTIE.

Digitized by Google

DEUXIÈME PARTIE.

Digitized by Google

DEUXIÈME PARTIE.

TRAVAUX D'EXPLOITATION.

CHAPITRE PREMIER.

OPERATIONS PRÉLIMINAIRES.

TRIAGE.—BOCARDAGE.—LAVAGE.—GRILLAGE.

Le minerai extrait de la mine est en masses ou fragments plus ou moins volumineux. Rarement ces masses sont-elles assez isolées de la gangue métallifère pour être susceptibles d'un traitement immédiat dans les fourneaux de fusion. Il s'y trouve ordinairement beaucoup de terres en mélange plus ou moins intime. A l'aide de divers marteaux de formes différentes, on peut directement se débarrasser, dans le plus grand nombre de cas, d'une proportion considérable de la gangue.

D'autres fois cependant les terres qui souillent le minerai y sont tellement adhérentes qu'elles ne s'en détachent que difficilement. C'est ce qui a lieu principalement pour les minerais exploités dans les

lieux humides et boueux : la vase délayée qui les recouvre, et qui à peine permet d'en reconnaître l'aspect, a pénétré leurs pores, et, en se desséchant après l'extraction, constitue une espèce d'enduit qui ne peut plus céder qu'au lavage.

D'autres fois encore, et c'est même le cas le plus fréquent, excepté dans l'extraction du fer limoneux, la densité et le fort volume des masses n'en permettent pas le cassage à la main, et, pour faciliter le triage du minerai utile, il est indispensable de recourir au bocardage.

En général, il convient, quel qu'ait été le mode de triage, de faire subir au minerai un grillage plus ou moins long. La plupart de ceux qui ont écrit sur l'exploitation ont parlé de l'utilité du grillage, sous le rapport de la volatilisation des substances nuisibles à la bonne qualité du fer. Il est fort douteux que, pour cette volatilisation, il ne suffise pas de l'opération même de la fusion dans le haut fourneau. Mais un avantage plus incontestable du grillage préliminaire, c'est d'augmenter la porosité des fragments, et surtout d'en égaliser la densité, ce qui rend la fusion d'une même charge de minerai plus généralement régulière; tandis que, lorsque de gros fragments durs résistent pendant long-temps à la fusion, la fonte liquide dont ils sont enveloppés a le temps de se rapprocher plus ou moins de l'état malléable, en perdant d'autant de sa fusibilité. Quoi qu'il puisse être de ces explications, le grillage est presque universellement pratiqué, et il a de bons résultats.

DU TRIAGE.

C'est l'opération par laquelle on sépare manuel-

lement le minerai de sa gangue, quand le mélange est facile à distinguer à la vue, et que, soit naturellement ou par l'effet de quelque autre opération, ce partage n'est pas susceptible de grandes difficultés. Les minerais qui, dans leur état naturel, se prêtent facilement au triage, sont principalement les fers spathiques, les oxidules et les fers oxidés concrétionnés compactes, souvent mamelonniformes.

Un premier triage, opéré sur les morceaux dont l'hétérogénéité est la plus apparente, se fait communément dans l'intérieur même de la mine. Portés à ciel découvert, les gros morceaux sont cassés à l'aide d'un marteau sur une grosse plaque de fonte ou de pierre très résistante qui porte le nom technique de *masse*. Les marteaux dits de triage sont susceptibles de formes très variées, qu'il serait superflu de décrire minutieusement, puisque ces formes, analogues à toutes celles usitées dans un grand nombre d'arts différents, peuvent facilement être abandonnées à l'intelligence du lecteur. Il nous suffira de dire que les coins ou biseaux que porte à l'une de ses extrémités un des marteaux ordinaires de triage sont souvent indispensables, dans beaucoup de circonstances, pour isoler plus promptement deux substances adhérentes entre elles.

DU BOCARDAGE.

Quand la séparation mécanique des substances hétérogènes est rendue très difficile par leur forte adhérence et par le volume des masses, il faut recourir à l'action d'un bocard.

Le bocardage peut avoir lieu dans deux cas

différents : 1° on soumet le minerai à l'action du bocard uniquement pour favoriser la séparation des substances étrangères, et ce avant le grillage ; 2° après le grillage, et dans la vue de réduire les fragments à un volume peu considérable, et rapproché autant que possible de l'uniformité : conditions qui toutes deux accélèrent et régularisent considérablement les fontes.

Le bocardage, considéré sous le rapport de l'accélération du travail, de l'économie vénale, et des données d'une mécanique plus ou moins ingénieuse et savante, a été l'objet d'un grand nombre de travaux remarquables. Les bornes que nous sommes forcé de nous prescrire nous obligent à beaucoup de concision, et nous ne pouvons suivre le développement de tous les moyens ingénieux qui ont été mis en pratique. Forcé de choisir, nous nous arrêterons sur quelques pratiques dont l'expérience a démontré l'opportunité, et nous les prendrons dans des localités tout-à-fait différentes entre elles, afin de guider dans le choix qu'on aurait à faire d'un système de bocardage, selon les circonstances variables dans lesquelles on pourrait être placé.

Le plus simple de tous les bocards, mais celui dont les inconvénients sont trop évidents pour qu'il soit nécessaire de s'y arrêter, consiste en un gros marteau, ordinairement en fonte de fer, qui tombe sur une grande *masse* ou tas également en fonte, entourée de planches, en forme de caisse. Ce marteau est mû à l'aide d'une roue hydraulique, pour laquelle, selon les localités, on pourrait substituer tout autre moteur à l'eau. L'expérience a fait connaître qu'un marteau de cette espèce, fonctionnant dans des circonstances très favorables, sous l'action d'un cours d'eau puis-

sant, ne peut guère casser en vingt-quatre heures que vingt-cinq mille kilogrammes de minerai médiocrement dur. Il suffit d'un homme de jour et d'un autre ouvrier de nuit pour la conduite de l'opération.

Le bocard le plus généralement en usage est composé de plusieurs pilons. Suivant la puissance du moteur que l'on a à sa disposition, on peut en varier le nombre depuis deux jusqu'à six, et plus. Ces pilons consistent en une pièce de bois de dix pieds de long sur cinq à six pouces d'équarrissage, terminée par une grosse botte de fonte, fixée sur la partie inférieure, et taillée en pointes de diamant. Ainsi garnis de leur masse de fonte, ces pilons pèsent chacun de soixante à soixante-quinze livres. On les place entre des liteaux, et on les y maintient verticalement. A quatre pieds de hauteur environ, on fixe sur ces pilons un mentonnet, sous lequel passe une came pour les enlever. Ce mécanisme est très analogue au moulin à effilocher, dit à mailloches, de nos anciennes papeteries.

Les pilons tombent dans une auge de bois, sur le fond de laquelle, dans le sens de la longueur, courent des bandes de fer. On place au-dessus de l'auge, vers le milieu de son prolongement, une caisse que l'on entretient toujours pleine de minerai. Cette caisse porte sur ses côtés des échancrures, par lesquelles un choc un peu violent peut faire passer du minerai, qui vient tomber dans l'auge, et cela arrive toutes les fois que, l'auge s'étant vidée, il s'exerce une action sur un levier qui communique au pilon par un mentonnet; le choc donné agite la caisse, et le minerai s'échappe. Sur le devant de l'auge se trouve un grillage formé de plusieurs barreaux triangulaires

de fonte, éloignés les uns des autres d'environ treize lignes, pour donner passage au minerai bocardé. Voilà la forme de bocard la plus généralement en usage en France, en Allemagne et en Suède. Mais en Angleterre, ni même dans les Etat-Unis, on ne s'en est pas tenu à cette forme consacrée par la routine. Divers moyens plus expéditifs, et susceptibles surtout de donner plus d'égalité dans la grosseur des fragments pour la fusion, ont été tentés avec plus ou moins de succès. Nous allons donner ici la description d'un bocard circulaire qui, dit-on, a été inventé dans la Carinthie, mais que nous avons vu en usage avec beaucoup de succès dans les États-Unis.

La machine consiste en un grillage de huit pieds et demi de diamètre, ajusté sur un plan circulaire de bois placé sur un arbre vertical. Les pilons, au nombre de dix, sont alternativement soulevés par des cames fixées sur un arbre horizontal, et retombent sur ce grillage, où ils écrasent le minerai. Le plan de bois dont il vient d'être parlé reçoit un mouvement circulaire, afin que la chute des pilons s'effectue successivement sur tous les points de la surface couverte de minerai. Les fragments, réduits à la grosseur d'un pouce en carré environ, passent à travers des ouvertures pratiquées à cet effet entre les grilles. Une roue à aubes, mue par l'eau, fait tourner un arbre, sur lequel sont emmanchées deux lanternes; la seconde lanterne s'engrène dans une roue horizontale très grande, portée par un arbre vertical, qui communique le mouvement circulaire au grillage; la première lanterne s'engrène aussi dans une roue dentée, qui fait mouvoir un autre arbre vertical. Une seconde roue dentée, liée à cet arbre, s'engrène dans une autre

lanterne, et communique le mouvement à l'arbre, porteur des cames élévatrices des pilons.

Le plus grand inconvénient qu'offre le bocardage à l'aide de mécaniques quelconques est la quantité de poussier ou fragments trop petits qui se forme par leur action. Dans quelques cas cet inconvénient est peu senti, tels par exemple que pour les minerais dont la fusion n'est pas retardée, et souvent même est avancée ou rendue plus facile par leur pulvérisation; mais il est d'autres cas, malheureusement trop fréquents, où cette pulvérisation est un obstacle considérable à la fusion, et nuit même à la qualité des fers. Ici le cassage tout à la main est une nécessité coûteuse qu'il faut subir. Cela dépend absolument de la nature du minerai. Nous aurons occasion de reproduire cette observation avec de plus grands détails.

DU LAVAGE.

Nous avons dit déjà que plusieurs espèces de minerais exigent indispensablement l'opération préliminaire du lavage. En effet, ou ils sont couverts de boue desséchée et agglutinée, ou leurs interstices, comme cela a principalement lieu pour les minerais caverneux et géodiques, sont remplis de terre que les instruments dont on fait usage dans le triage ne pourraient atteindre d'une manière expéditive et économique. Le lavage devient de rigueur dans tous ces cas; mais ses procédés doivent varier relativement à la nature du minerai, et au degré d'adhésion de la terre qui le souille.

Lorsque ces terres sont mélangées avec le minerai en petits fragments, ou qu'elles ne font que

d'en recouvrir la surface, qu'elles y sont peu adhérentes, on a recours au simple lavage dans des réservoirs. Pour cela, dans le cours d'un ruisseau, on creuse deux ou un plus grand nombre de bassins que l'eau traverse en s'écoulant. Ces bassins se tapissent ordinairement dans l'intérieur avec de forts madriers, maintenus par des potelets enfoncés profondément dans le sol. Le minerai est jeté dans le premier bassin; un ouvrier, appelé *laveur*, l'agite continuellement, à l'aide d'un rabot ou rateau. L'eau entraîne avec elle toutes les terres plus légères que le minerai, et la partie la plus fine de celui-ci, qui se dépose dans le second bassin, tandis que les terres, qui continuent d'être en suspension, sont entraînées encore plus loin.

Si le minerai n'était souillé, avant d'entrer dans les bassins, que par la terre ainsi délayée et expulsée, il suffirait du lavage, et on pourrait immédiatement après procéder à la fusion; mais quand en outre il se trouve en mélange avec du sable ou des pierres, il faut les séparer par le tamisage ou criblage. Ou les matières étrangères sont plus fines que le minerai, et, dans ce cas, qui est le plus ordinaire, celui-ci reste sur le tamis; ou elles sont plus volumineuses que lui, et, dans ce cas, on ménage les mailles du tamis de manière que ce soit le minerai qui y passe, à l'exclusion des pierres.

On emploie communément pour le criblage, ou des chaudrons percés de trous relatifs à la grosseur des substances qu'on veut extraire, ou des paniers d'osier, ou des cribles en fil de fer.

Quelquefois encore on fait usage de ce qu'on appelle des *égrappoirs* : c'est une espèce de grillage en fer posé au-dessus d'un réservoir, avec

une inclinaison de trente à trente-cinq degrés. Ce grillage communique avec un canal, dans lequel est une trémie ; le minerai est dans la trémie ; l'eau en passant l'entraîne sur le grillage, où les pierres sont séparées de l'oxide de fer ; celui-ci tombe dans le bassin, d'où on le retire pour le laisser sécher avant de l'apporter au fourneau.

Quand le minerai est tout à la fois mélangé de sable plus fin que lui et de pierres qui sont plus volumineuses que les grains d'oxide, on peut avec avantage employer la laverie dite *à gradins*. C'est principalement le cas pour les minerais des décombres, et pour séparer ceux qui se trouvent dans des anciennes *haldes*. Cette laverie consiste en un double grillage, l'un calculé pour les pierres, et le second pour le sable. Au lieu de fil de fer pour ces grillages, on peut faire usage de plaques de tôle percées de trous des dimensions voulues.

Mais quand les terres sont fortement adhérentes au minerai, soit qu'elles recouvrent sa surface, soit qu'elles composent une espèce de ciment qui unit entre eux les grains d'oxide de fer, et quand elles ne se délaient que difficilement et lentement, on favorise l'action de l'eau à l'aide de ce qu'on appelle un *patouillet*. Cet instrument n'est autre chose qu'une auge de bois ou de fonte que l'on emplit d'eau par le moyen d'un courant. On y jette l'oxide terreux ; des barres de fer, fixées sur un arbre mû par l'eau, remuent continuellement les minerais ; l'eau en s'écoulant entraîne la terre délayée et divisée.

DU GRILLAGE.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, quelle que soit la cause qui ait déterminé le grillage, on a observé que cette opération prépare toujours merveilleusement bien le minerai à la fusion, quand il a été fait également et au degré convenable; il est même rare que la qualité du fer n'en soit pas améliorée. Les fers spathiques l'exigent plus impérieusement que tous les autres: car nous ne parlons pas ici des pyrites ou sulfures de fer, qui jamais, ou au moins très rarement, ne sont employées dans la fabrication du fer.

Le grillage pourrait, jusqu'à un certain point, être suppléé par une longue exposition du minerai à l'air, avant de le soumettre à la fusion; mais ce procédé, qui d'ailleurs est susceptible d'être mis en usage concurremment avec le grillage, ne peut que rarement suffire seul dans une exploitation considérable, à cause du long temps et des emplacements qu'il exige.

Autant un grillage bien fait peut avoir une influence heureuse sur la qualité du fer et procurer de l'économie dans le combustible et sur le temps, autant cette opération essentielle, étant mal conduite, peut occasioner de pertes, et de frais au moins inutiles. C'est même à la crainte des inconvénients qui en résultent souvent entre des mains malhabiles ou inexpérimentées qu'il faut attribuer l'éloignement que certains maîtres de forges éprouvent pour le grillage. Aussi voit-on que tel maître, placé dans le voisinage d'un confrère entêté du grillage, de son côté le réprouve absolument. Et qu'on ne dise pas que cela tient

à des différences dans l'espèce des minerais, car nous voyons cette opération bien faite réussir avec toutes les natures de fer et dans toutes les localités : aussi l'on grille le minerai avec succès en Suède, en Piémont, dans le Val-d'Aost, en Corse (*fers oxidulés*), dans les Pyrénées, en Angleterre, dans une grande partie de l'Allemagne (*oxides compactes mamelonnés*). On grille également en Angleterre, en Suède, etc., les oxides terreux des lacs, des gazons, des marais.

Les divers phénomènes qui ont lieu pendant le grillage des diverses natures de minerai sont dignes de toute l'attention du manufacturier observateur, jaloux de conformer ses procédés au but qu'il se propose, et de les varier suivant la nature des substances soumises à son traitement. Il s'en faut bien que le grillage, même en le supposant conduit de la manière la plus uniforme, produise constamment le même changement dans les divers minerais. Par exemple, le fer oxidulé, soumis à l'action d'un feu lent et doux, paraît se combiner avec de nouvel oxygène, et cette surcharge en augmente ordinairement le poids. L'effet est plus sensible dans un grillage long-temps continué dans un fourneau de coupelle; mais l'augmentation, pour être moins grande, n'en est pas moins constante dans les travaux d'un grillage en grand. Cette augmentation est comprise ordinairement dans les limites de deux à quatre pour cent. Cela ajoute à la fusibilité du minerai, moins encore peut-être à cause de l'oxygène qui s'y combine que par le changement qui en résulte dans la texture des morceaux, qui augmentent considérablement de volume, deviennent poreux, et par conséquent plus perméables à la matière de la chaleur. Les fers spathiques, au

contraire, diminuent sensiblement et constamment de poids par le grillage. La diminution, qui a été de beaucoup exagérée par plusieurs métallurgistes, varie de trente à quarante pour cent, quand le fer spathique est soumis au grillage immédiatement au sortir de la mine. S'il est resté pendant long-temps à ciel découvert, et qu'il ait passé au brun plus foncé, de jaune brunâtre qu'il était, la diminution de poids occasionée par le grillage sera moins forte. Or le volume du fer spathique ne diminuant pas sensiblement pendant la calcination, il est évident, puisqu'il a beaucoup perdu en poids, qu'il doit être devenu beaucoup plus poreux; et sa fusibilité est d'autant augmentée; il est devenu aussi très facile à briser.

Les oxides au maximum perdent aussi. Quelques espèces mamelonnées compactes perdent de dix à dix-huit pour cent. Ils deviennent attirables à l'aimant, et ce n'est qu'alors qu'ils cessent d'être réfractaires. Les oxides compactes non mamelonnés se comportent à peu près de même dans l'opération du grillage.

Les oxides terreux, tous plus ou moins hydratés, perdent encore davantage, de vingt-cinq à trente. M. Vauquelin a trouvé qu'un ocre jaune, préalablement desséché complètement à l'étuve, avait ensuite perdu au grillage cinquante-trois pour cent.

Outre l'augmentation de fusibilité qui résulte de la désaggrégation des minerais par le grillage et de la porosité qu'ils acquièrent, une considération importante en faveur de cette opération préliminaire, c'est la perméabilité aux gaz carbonnés, qui peuvent d'autant plus facilement les pénétrer et en opérer la réduction à l'aide du carbone que ces gaz tiennent en dissolution.

Pour ce qui est de la question d'économie de combustible, il faut convenir qu'on ne peut dire avec assurance et d'une manière positive que la proportion de combustible avec laquelle on peut fondre un minerai encore humide ou carbonaté soit plus grande que la somme des deux quantités de combustible employées, la première pour griller, la seconde pour fondre le minerai préalablement desséché. Mais ce que la théorie n'explique pas se trouve incontestablement résolu par l'expérience de tous les maîtres de forges instruits et bons observateurs dans leur art : il est certain qu'un grillage convenablement fait procure généralement de l'économie dans le combustible, en même temps qu'il améliore les produits ; et, ce qui n'est pas d'une moindre importance pour le fabricant, il augmente sa production et diminue la main-d'œuvre en abrégeant le temps des fontes. Les fourneaux eux-mêmes sont d'autant moins promptement détériorés qu'il ne se dégage dans leur intérieur ni humidité, ni surtout des gaz expansibles ou corrosifs.

Le degré de grosseur des fragments exposés à la fusion dans les hauts fourneaux n'est pas du tout une chose indifférente : trop gros, ils sont lentement pénétrés par le calorique ; mais, à un état de ténuité exagéré, ils présentent beaucoup d'inconvénients. Quoique l'intelligence et la pratique de plus en plus éclairée des maîtres de forges de l'époque actuelle puisse nous dispenser d'aller emprunter nos autorités et au loin et à des temps déjà d'autant plus reculés que la fabrication a fait des progrès plus rapides, je citerai à cet égard le témoignage de Garney, parce que ce dont j'ai été moi-même témoin confirme pleinement ce que ce savant métallurgiste affirme. « L'expérience a fait

« connaître, dit-il, que, lorsque le minerai est en « poudre trop fine : 1° il fond trop vite, et il étouffe « en quelque sorte le feu ; il faut, pour éviter ce « mauvais effet, le mêler à une substance moins « fusible ; 2° après l'avoir jeté dans le fourneau, « la flamme en emporte souvent une partie, la- « quelle occasione une perte sensible ; 3° il passe « trop facilement à travers les charbons, ce qui « fait que souvent il s'accumule plus dans une par- « tie que dans une autre ; que dans cette autre « partie il ne reste plus que des charbons, ce qui « rend très inégale la marche du fourneau. »

Selon la nature des minerais que l'on a à traiter, il peut y avoir de l'avantage à leur appliquer divers procédés après le grillage qu'on leur a fait subir. Cela dépend beaucoup des substances étrangères qui restent encore en combinaison ou en mélange : c'est ainsi que quelques minerais sont portés au four de fusion immédiatement après le grillage, tandis que d'autres exigent une exposition plus ou moins longue à l'action de l'air ou de l'eau ; quelquefois même on les éteint dans l'eau par immersion. Nous aurons occasion de revenir sur ces considérations en leur propre place : nous ne pouvons actuellement que les indiquer dans ce chapitre des opérations préliminaires. Nous ajouterons cependant que, s'il reste encore du soufre dans le minerai grillé, ce dont on peut s'assurer par l'affusion d'un acide, l'exposition à l'air humide devient très avantageuse pour convertir le sulfure ou les sulfites en sulfate, qui, devenu soluble à l'eau, doit être emporté par un lavage bien fait, avant que de soumettre le minerai à la fusion. Hermann dit positivement qu'il a introduit ce procédé dans les mines impériales, et qu'il a l'inappréciable avantage *d'empêcher*

que le fer ne soit cassant à froid et à chaud.

Le combustible à employer pour le grillage des minerais peut varier suivant les localités et d'après l'avantage vénal ou de commodité qu'il y a à faire usage plutôt d'un combustible que d'un autre : c'est ou du gros bois, ou des branchages, ou du charbon de bois, ou de la houille.

Quant au mode de grillage, la même variation existe également, et elle est commandée par les localités et par la nature des minerais.

Le plus simple des grillages se fait à ciel découvert, sur une aire non circonscrite de murs quelconques. On se contente de dresser le sol. L'étendue de cette aire n'est pas moins variable, et elle n'a, en-deçà et au-delà de certaines limites, qu'une influence très bornée sur la nature des résultats. Les Anglais, qui en fait de manufacture sont partisans des vastes échelles, donnent à ces aires depuis soixante jusqu'à deux cents pieds de long sur quinze à dix-huit de large. On choisit un terrain solide et surtout aride et sec. Le minerai et le combustible se stratifient sur cette aire; l'épaisseur des couches doit être en raison inverse de la dureté du minerai, et en raison directe de la force du combustible. Cette opération, principalement quand on fait usage de houille, a beaucoup de ressemblance avec la cuisson des tas de briques en Flandre. Il n'est guère possible d'assigner *a priori* les épaisseurs respectives des couches de minerai et de combustible : cela doit toujours dépendre de la qualité des matières. Je donnerai néanmoins ici des épaisseurs que j'ai vu pratiquer avec succès, et d'autres qui sont indiquées par des écrivains estimables.

Dans les grillages au charbon de bois, on commence sur la terre d'abord par une couche de

minerai que l'on recouvre d'une couche de charbon, et ainsi alternativement jusqu'à hauteur de sept pieds; puis on recouvre avec du *fraisil* ou menu charbon. Les couches de charbon ont de cinq à six pouces d'épaisseur, et celles de minerai de huit à neuf pouces.

Dans le grillage au bois, la couche inférieure, qui est la première en bois, a quelquefois jusqu'à quinze pouces d'épaisseur; la première couche de minerai sur celle-ci a vingt ou vingt-deux pouces d'épaisseur; les autres couches, tant en bois que minerai, vont toujours en diminuant, et le tas s'élève jusqu'à dix pieds.

Avec la houille, la première couche, immédiatement sur le sol, a de six à huit pouces d'épaisseur; la première de minerai de quinze a dix-huit; les autres couches sont beaucoup moindres.

Quelquefois, et je crois cette méthode la meilleure, on fait la première couche au bois, la deuxième en minerai, la troisième en charbon de bois, et ensuite du minerai et du charbon de bois alternativement jusqu'au haut du tas.

On n'allume le feu que lorsque le tas est terminé. Il ne tarde pas à gagner toutes les couches de combustible; c'est du moins ce qui a toujours lieu pour les grillages au bois et à la houille, et quelquefois pour les grillages au charbon de bois. Cependant j'ai vu, dans les forges de Springfield, aux États-Unis, ne monter d'abord le tas qu'à moitié, mettre le feu à la couche de charbon du milieu, et continuer ensuite à monter le tas : cette méthode m'a semblé inutilement embarrassante.

Quel que soit le procédé, le grillage à ciel découvert et sans parois ni murets est sujet à de grands inconvénients, et exige beaucoup d'attention pour régler le tirage, en fermant ou en ou-

vrant alternativement les évents pratiqués dans le tas, afin d'égaliser la chauffe. Des changements inobservés dans la direction du vent peuvent occasioner de grandes inégalités dans la température et par conséquent dans le grillage : or rien n'est plus contraire au succès des fontes que l'emploi d'un minerai inégalement et imparfaitement grillé.

L'élévation de murs sur l'emplacement du grillage n'est pas très dispendieuse, et elle obvie à la plupart des inconvénients d'une aire ouverte : aussi ce moyen est-il presque généralement adopté en Angleterre. Ordinairement cette construction consiste en deux murs élevés parallèlement ; ou bien, comme en Suède notamment, elle est fermée par un troisième mur ; quelquefois même on lui donne la forme d'une pyramide tronquée ; on en fait en prismes rectangulaires, circulaires, elliptiques : les côtés du rectangle varient entre dix et quarante pieds. Dans le comté de Foix, les côtés des carrés ou les diamètres des cercles et des ellipses varient entre dix et douze pieds ; la hauteur de tous ces fourneaux est de six à douze pieds. Tout cela dépend principalement des quantités de minerai que l'on veut griller à la fois.

Dans quelques uns de ces fourneaux, on pose le combustible sur le sol, et l'air nécessaire pour le brûler pénètre par une porte de trois à six pieds d'ouverture, qui sert d'entrée aux fourneaux. En Suède, ces fourneaux ont des ouvertures percées dans le bas du mur, pour faciliter le courant d'air ; d'autres fois le sol des fourneaux est formé de plaques de fonte épaisses, de quatorze à quinze pouces de côté, et qui sont perforées. Ces plaques sont posées sur de petits murs élevés d'un pied : c'est sur ces plaques que l'on met le minerai que l'on veut griller. Le devant du fourneau est garni

de deux portes d'aérage qui communiquent au-dessous des plaques, moyennant des ouvertures faites au petit mur.

Les fourneaux pyramidaux ont toujours leur ouverture supérieure plus large que leur base. Leur forme est celle d'une pyramide tronquée portée sur sa troncature; souvent la pyramide se prolonge jusqu'au sol; d'autres fois leurs faces sont brisées près du sol, et elles forment un petit prisme sur lequel la troncature est posée.

En Angleterre, on élève une banquette sur le fond du fourneau, à vingt pouces de hauteur. Cette banquette sert de base à une voûte de gros fragments de minerai. C'est sur cette voûte que se place le minerai par couches successives, dans lesquelles les morceaux diminuent de grosseur à mesure que les couches s'élèvent. Le feu s'allume sous la voûte. Cela suffit quand le feu est composé de bois en bûches ou de fagots; mais quand on fait usage de houille, il faut construire une grille au-dessous de laquelle est une voûte pour déterminer le courant d'air nécessaire à la combustion.

Les fours à griller que l'on vient de décrire ont l'inconvénient de rester exposés à toutes les intempéries de l'air. La pluie, la neige, qui tombent sur la surface supérieure, introduisent de l'eau dans le grillage, ce qui, d'une part, augmente la dépense en combustible, et peut rendre le grillage inégal et imparfait. Voilà pourquoi en beaucoup de lieux ces fourneaux sont placés sous des hangars. Dans les grandes exploitations, on accole plusieurs fourneaux de grillage les uns aux autres, sous un même toit.

On a même quelquefois pratiqué le grillage dans des fourneaux de réverbère; mais puisque le grillage peut très bien s'exécuter, même pour les

plus petits fragments, en les mêlant avec de plus gros, il paraît inutilement coûteux de faire usage de ce mode dispendieux de fourneaux, qui d'ailleurs ne peuvent être que d'une capacité toujours assez bornée.

Du degré de grillage que les minerais de fer doivent subir, et des moyens que l'on emploie pour l'atteindre sans le dépasser.

Les minerais de fer doivent être grillés, 1° pour vaporiser les substances nuisibles, telles principalement que le soufre, l'arsenic; 2° pour augmenter leur porosité et faciliter la réduction; 3° pour diminuer la cohésion et augmenter la fusibilité.

Plusieurs variétés de fer, telles que les fers oxidulés, les fers spathiques, quelques oxides purs, contiennent des pyrites martiales ou fer sulfuré; quelquefois, quoique rarement, du mispikel ou pyrites arsenicales. Comme ces deux substances nuisent à la qualité de la fonte et du fer que l'on en obtient, il est essentiel de les vaporiser avant de fondre le minerai.

Les sulfures de fer ne laissent échapper, par l'action du feu à vaisseau clos, que trente-six pour cent environ du soufre qu'ils contiennent. Le surplus ne peut être dégagé qu'en se combinant à de l'oxygène pour former de l'acide sulfureux ou de l'acide sulfurique qui se volatilisent ensuite, l'un dans son état naturel, et le second après avoir éprouvé une décomposition qui à une haute température le ramène à l'état d'acide sulfureux et d'oxygène. Il résulte de ces données que, pour vaporiser complétement le sulfure des pyrites mélangées avec les minerais de fer, il est nécessaire du contact immédiat et long-temps prolongé de

l'oxygène. Cela avait été depuis long-temps observé par les praticiens, qui, sans en connaître la raison, n'en indiquaient pas moins la nécessité. Garney observait que, « lorsque les minerais à griller contiennent beaucoup de substances à volatiliser, il faut un plus grand courant d'air que celui qui a lieu dans le grillage ordinaire »; et il a décrit, dans le paragraphe suivant, le mode de grillage à courant d'air que l'on doit employer dans cette circonstance. Lorsque l'on ne se propose que de dégager l'eau et l'acide carbonique, il suffit d'établir un courant d'air propre à entretenir la combustion, et d'amener la température à un degré capable de vaporiser ces deux substances. Il faut avoir soin de proportionner le combustible à la marche de l'opération et à la fusibilité du minerai, afin que le grillage de chaque morceau s'étende jusqu'au centre, et qu'en le cassant on n'aperçoive pas de noyau cru; mais il faut avec non moins d'attention éviter que le minerai n'éprouve un commencement de fusion qui augmenterait la cohésion de ses particules, ce qui diminuerait sa fusibilité et produirait un fer de moindre qualité.

L'importance du degré précis de la calcination est affirmée par tous les métallurgistes qui ont été à portée de suivre les détails des travaux en grand, et qui ont pratiqué eux-mêmes les grillages. Jars et Duhamel disent que « l'expérience a démontré et démontre journellement que, lorsqu'un minerai de fer a été trop attaqué par le feu dans le rôtissage, il produit moins de métal ». Pour que la mine soit bien cuite à point, observe Diétrich, on exige qu'elle sorte gercée du recuit; qu'elle paraisse friable, grenue au toucher et point vitreuse. Tiéman remarque que, lorsque le minerai

est trop grillé, la séparation est trop difficile; et dans le *Journal des Arts et Manufactures* on trouve un article traduit presque en entier de Tiéman, auquel on a ajouté que, « par un grillage mal conduit, le minerai se vitrifie, et alors le produit en métal, au lieu d'être augmenté, se trouve diminué ».

Garney dit expressément : « De quelque manière que le grillage soit effectué, il faut proportionner la chaleur à la nature du minerai que l'on doit traiter, de manière qu'il soit bien grillé dans toutes ses parties, et que la surface des fragments ne soit pas vitrifiée. »

Non seulement la vitrification du minerai dans le grillage diminue sa fusibilité et occasione une plus grande dépense de combustible; mais encore la fonte qui en provient est moins abondante, elle est plus difficile à affiner, et elle produit un fer d'une moindre qualité. On a tenté un grand nombre d'explications pour se rendre raison de la diminution de produit en fonte dans le cas d'un grillage trop avancé. Outre que je ne trouve rien de concluant dans ces explications d'un fait très singulier, mais qui n'en est pas moins avéré, l'espace me manque pour les rapporter. Il me suffit ici d'appeler l'attention des maîtres de forges sur la nécessité de soigner cette partie de leurs travaux.

L'arrangement du combustible et du minerai dans les fourneaux de grillage, la conduite du feu pendant cette opération, ont été décrits avec beaucoup de soin par les métallurgistes qui ont traité de cette opération. Dans le grand nombre de ces instructions, nous ferons choix de celle publiée par l'ingénieur des mines Daubuisson, et tirée de l'ouvrage de Garney. Ce choix est motivé

par la conformité de ses principes avec ce que nous avons vu mettre en pratique avec un grand succès dans quelques hauts fourneaux aux Etats-Unis.

« 1° On pose longitudinalement de grosses piè-
« ces de bois de deux à trois décimètres d'épais-
« seur, afin d'entretenir un courant d'air ; 2° on
« place dessus, transversalement, des bûches aussi
« près que possible les unes des autres, jusqu'à ce
« que les bûches soient à quinze centimètres au-
« dessous du haut des murs ; 3° on place de dis-
« tance en distance, aux coins et le long des murs,
« des pièces de bois que l'on ôte lorsque le tas est
« bien établi : les vides qu'elles laissent servent
« de soupiraux pour la circulation de l'air ; 4° on
« les couvre d'une couche de fraisil ou de menu
« charbon de quinze centimètres d'épaisseur ;
« 5° on place une couche de minerai, puis une
« couche de charbon ou de menu bois, et on al-
« lume : on élève ce tas plus ou moins haut, selon
« que le minerai doit être plus ou moins forte-
« ment grillé ; 6° s'il exige un fort grillage, on le
« couvre aussitôt de poussier de charbon ; mais
« s'il s'agit d'un minerai ordinaire, on n'y met
« une enveloppe que lorsque le feu est bien pris et
« que le tas commence à s'affaisser.

« Il faut observer 1° de mettre les plus gros
« fragments de minerai immédiatement sur le
« bois ou dans le milieu du tas, parce que c'est la
« partie où la chaleur est la plus forte ; on met
« ensuite le minerai qui n'a pas suffisamment subi
« l'action du feu dans le précédent grillage ; on
« met après les menus débris et les parties ter-
« reuses du minerai, pour couvrir le tout, afin
« de conduire la chaleur à volonté ; 2° on place
« les fragments de minerai qui sont vers les bords

« aussi régulièrement qu'il est possible, comme « dans une maçonnerie sèche, afin que le mine- « rai ne s'affaisse pas trop tôt; 3° cette disposition « soignée des fragments doit avoir lieu principa- « lement autour des évents; 4° enfin, vis-à-vis la « porte, on place intérieurement une grosse pièce « de bois, afin qu'elle ne se consume pas trop vite, « qu'elle soutienne le minerai et l'empêche de « s'écrouler; à son défaut, lorsque le feu a pris, « on peut murer l'ouverture avec de la pierre « calcaire : on fait cette maçonnerie un peu ser- « rée, de manière à ce que la pierre puisse être « un peu calcinée.

« On met le feu à environ deux mètres en avant « de l'ouverture, et cela en introduisant du bois « allumé entre les pièces longitudinales : de cette « manière le feu prend également peu à peu en « tous sens. A mesure que le bois brûle, le minerai « s'affaisse. L'affaissement a lieu dans l'endroit où « l'on a mis : le feu, il se propage successivement « jusqu'aux extrémités du fourneau. Afin que la « grosse pièce de bois qui est devant l'ouverture « ne se consume pas trop vite, on la mouille de « temps à autre : le feu, par ce moyen, ne se « porte pas trop rapidement vers l'extrémité « du mur, ce qui multiplierait trop les soins « qu'il faut avoir. On tient bouchés, soit avec du « minerai, soit avec de la pierre calcaire, les « évents qui sont vers cette extrémité, et l'on « couvre le tas avec du poussier humide; on le « laisse couvert ainsi jusqu'au moment où l'on « veut y mettre le feu. On favorise la propaga- « tion du feu, lorsqu'on le juge convenable, avec « du poussier bien sec, ou, plus économique- « ment, avec du laitier, au moment où il vient de « couler du haut fourneau. Il faut faire en sorte,

« en conduisant le grillage, que le minerai en s'af-
« faissant s'incline vers le point où l'on a com-
« mencé à mettre le feu, ce qui se fait en aug-
« mentant ou en diminuant, selon la convenance,
« la chaleur à l'aide du poussier : cette manipu-
« lation exige un peu d'habitude, mais elle est
« bientôt apprise. Cependant, quelque soin que
« l'on prenne, il reste toujours dans quelques par-
« ties du tas, et principalement vers les coins,
« des portions du minerai qui doivent être repas-
« sées à un second grillage.

« Quoique, d'après l'expérience que j'ai acquise
« dans cette partie, dit Garney, la méthode que
« je viens de décrire soit celle qui procure le
« grillage le plus uniforme et en même temps le
« plus simple et le plus économique, cependant
« elle ne peut servir que pour les minerais qui ne
« contiennent pas une grande quantité de substan-
« ces nuisibles à volatiliser; elle sert principalement
« pour les minerais suédois. La proportion de
« combustible ou de minerai peut varier pour cha-
« cun d'eux, et l'on ne peut rien dire de général à
« ce sujet. Ainsi, le minerai de Tabergen Smo-
« land exige, pour être bien grillé, deux fois au-
« tant de bois qu'un autre, que l'hématite d'OE-
« sa, dans le district de Nora, par exemple. »

Dans les Pyrénées, on consume, pour griller un quintal de minerai, d'une à trois livres de bois, et de trois à quatre livres de charbon. En Piémont, dans le Val-d'Aost, on consume également de une à trois livres de bois et de quatre à cinq livres de charbon menu par quintal de minerai.

Quant à la mine limoneuse, voici la méthode pratiquée en Suède, telle que Garney l'a décrite. On place sur le sol de l'aire deux ou trois gros

troncs d'arbres, on place sur ces deux troncs inférieurs, et entre eux et les deux troncs supérieurs, une couche de petit bois, de manière que l'espace en soit rempli; enfin on met sur les bords de plus gros bois, que l'on arrange en croix. Lorsque le bois est bien allumé, quatre personnes, une de chaque côté, jettent, avec des pelles de bois armées de fer, le minerai sur le brasier, qu'elles ont soin de remuer, afin que la mine n'éprouve pas un feu trop fort et ne se scorifie pas. Plus le feu est fort dans un endroit, plus on y jette de minerai. On continue ce travail jusqu'à ce que tout le bois soit consumé. Dans une opération bien conduite, lorsqu'il n'y a pas de vent, on grille quatre à cinq cents tonnes de minerai avec cinq ou six cordes de bois : c'est un demi-stère de bois par mètre cube de minerai (donc environ douze livres de bois ou deux livres cinq douzièmes de charbon par quintal de minerai).

Swedemborg dit qu'en Dalécarlie le lit de combustible est formé de gros arbres que l'on couvre de menu bois, puis de minerai; et que, lorsque ce dernier est grillé, on dérange le bois pour faire tomber par-dessous le minerai grillé, après quoi l'on remplit le vide de grosses pièces avec de menu bois que l'on recouvre ensuite de minerai. Lorsque celui-ci est grillé, on le fait tomber comme le premier. On continue cette manipulation aussi long-temps que les arbres, n'étant pas trop attaqués, peuvent contribuer au grillage de nouveau minerai.

J'ai exposé, avec tous les détails qui m'ont paru utiles à connaître, les divers procédés de grillage pratiqués dans les diverses usines à fer, tant en France qu'à l'étranger. Cette partie du travail est de la dernière importance, soit qu'on la con-

sidère sous le rapport de la qualité des produits ou sous celui de l'économie dans la main-d'œuvre et dans l'emploi du combustible surtout. Elle a sollicité toute l'attention dont je suis capable, et ce n'est pas trop présumer sans doute de ma part que d'offrir dans cet ouvrage le résultat des observations qui me sont propres, et le projet d'un système de grillage dont je suis fermement convaincu que l'on retirerait un immense avantage dans toutes les localités où il sera désormais permis de substituer au charbon de bois, dans les hauts fourneaux et fourneaux d'affinerie, le coke de houille. Or le moment n'est pas éloigné, sans doute, où, dans le plus grand nombre des départements qui produisent du fer, cette substitution deviendra le résultat d'une industrie éclairée qui a fait la richesse des Anglais. Si on pouvait douter de cet avenir très prochain, on n'aurait qu'à jeter les yeux sur le rapport si lumineux et si méthodique, fondé sur des faits certains et des documents authentiques, qu'a publié, l'année dernière, par les ordres du directeur général des ponts et chaussées et des mines, M. le conseiller d'état, inspecteur divisionnaire au corps royal des mines, Héron de Villefosse. J'ai cru devoir un chapitre spécial, accompagné des dessins nécessaires pour son intelligence, à une question aussi essentielle, et j'ai renvoyé cet objet, par forme d'appendice, à la fin du deuxième volume.

CHAPITRE DEUXIÈME.

DE LA FUSION DU MINERAI, POUR EN OBTENIR DE LA FONTE OU FER CRU.

Le minerai de fer, après avoir subi une ou plusieurs des préparations qui ont été décrites dans le chapitre précédent, est porté au fourneau de fusion pour y être converti en fonte ou fer cru.

La *fonte brute* s'obtient en mettant de l'oxide de fer en contact avec du carbone ou des matières qui lui en fournissent, et en exposant les substances à une température très élevée dans des fourneaux qui prennent en général le nom de hauts fourneaux toutes les fois que leur hauteur intérieure, prise dans le sens de l'axe, est de plus de douze pieds. La combustion du charbon est favorisée dans la fonte du minerai par des machines soufflantes : celles-ci sont de plusieurs espèces, et nous les décrirons toutes en leur lieu respectivement. Quant à la fusion proprement dite, elle a également besoin d'être aidée par des matières qui, en raison de leur affinité pour les substances terreuses mélangées à l'oxide du minerai, tendent à produire avec elles une scorie vitreuse, et à en débarrasser le métal.

La considération de ces diverses conditions pour la fusion du minerai trace tout naturellement une division de ce chapitre en six parties distinctes. Il y sera donc question 1° des fourneaux conve-

nables pour la fonte des minerais; 2° des machines soufflantes propres à activer la combustion; 3° des fondants à ajouter au minerai; 4° du combustible; 5° de la conduite du fondage; et 6° du moulage de la matière fondue.

DES FOURNEAUX DE FUSION.

Ceux-ci se divisent en deux catégories : dans les fourneaux de la première, le fer, complétement fondu et séparé des matières terreuses qui l'accompagnaient dans le minerai, reste liquide dans une espèce de creuset pratiqué au pied du fourneau, et de là il est susceptible d'être coulé dans des cavités ou des moules de formes variées; dans les fourneaux de la seconde catégorie, au contraire, le fer se liquéfie bien aussi, mais on le laisse se raffiner et se prendre en masse dans le creuset; on ne l'en retire que pour le *cingler, le forger*: il est alors transformé en fer malléable ou en acier. On a emprunté de l'allemand, langue classique du minage et de la métallurgie, la dénomination des deux espèces de fourneaux : celui de fusion proprement dite est un *fluss-offen*; celui dit *à masse* quand il est d'une certaine capacité, et *d'affinerie* quand il est très petit, est un *stuck-offen*. Mais pour le moment nous n'aurons à nous occuper que des *fluss-offen*.

Pendant long-temps, pour le travail du fer, l'on n'a connu que des fourneaux très bas. Sans nous enfoncer à cet égard dans des recherches qui prouveraient plus en faveur de notre patience qu'elles n'auraient d'utilité réelle, nous nous bornerons à faire observer que, vers le milieu du seizième siècle, époque à laquelle le célèbre Agricola

a publié son ouvrage *De re metallica*, admirable pour le temps où vivait l'auteur, les plus hauts fourneaux connus en Europe n'avaient pas plus de neuf à dix pieds. Ce n'est que vers la fin du seizième siècle qu'on vit dans le Hartz un fourneau de vingt-quatre pieds, ouvrage d'un Voigtlandais nommé *Hans-sien*.

Les fourneaux de fusion modernes, appelés en général *hauts fourneaux*, doivent être considérés spécialement sous deux points de vue différents : 1° les massifs, ou la forme extérieure ; 2° le vide intérieur, appelé vulgairement cheminée.

DE LA FORME EXTÉRIEURE.

En général le galbe d'un haut fourneau est dans la forme d'une tour quadrangulaire ou d'une pyramide tronquée ; souvent aussi le massif hors de terre est divisé en deux parties, l'une prismatique et l'autre pyramidale, ce qui produit quatre sortes de formes : 1° prismatique, 2° pyramidale, 3° pyramidale prismatique, 4° prismatique pyramidale. Leur hauteur au-dessus du sol varie entre douze et soixante pieds. Quand ces fourneaux n'ont que vingt à trente-deux pieds de hauteur, on donne à la base une largeur égale à la hauteur au-dessus du sol ; mais lorsque l'élévation est plus considérable, la longueur de la base est à la hauteur ordinairement entre les deux tiers et les cinq sixièmes. Il y a cependant quelques exceptions à cette règle. On voit à Conches, dit-on, un fourneau qui donne des résultats très satisfaisants, et dont la base est plus grande que la hauteur au-dessus du sol. Mais s'il est vrai qu'on s'en trouve bien, cela doit tenir à quelque circonstance par-

ticulière et encore peu expliquée, car il est évident que cette disposition doit contrarier le tirage et ralentir la combustion : aussi ces cas sont-ils extrêmement rares. Les *fluss-offen* de Carinthie, quoiqu'ils n'aient que quatorze pieds au plus de hauteur, n'ont de longueur de base que les trois quarts de cette hauteur.

Les fourneaux sont presque toujours percés de deux portes ou *embrasures*, auxquelles on donne aussi assez improprement le nom de *voussoirs*. Celle de devant sert pour les manœuvres, pour séparer les scories, faire couler la fonte, ou pour la puiser avec des *poches*. La seconde embrasure, placée sur une des faces latérales, sert à l'introduction des machines soufflantes.

Plusieurs fourneaux ont un plus grand nombre d'embrasures; on leur applique deux tuyères de soufflerie, ce qui exige trois embrasures, en y comprenant celle du milieu pour le service. Il y a même, quoique rarement, des fourneaux à trois tuyères. Mais il est aussi un assez grand nombre de fourneaux, petits ou moyens, dans lesquels il ne se trouve d'autre embrasure que celle de service : c'est le cas pour les *fluss-offen* de Styrie et de Carinthie, pour les hauts fourneaux d'Italie, pour plusieurs de ceux du département de l'Isère : alors la tuyère des machines soufflantes se place sur le devant, au-dessus de l'ouverture de la coulée, dans l'embrasure par laquelle on travaille dans l'intérieur.

L'ouverture supérieure du fourneau sur la plate-forme se garnit quelquefois d'un petit muret auquel on donne le nom de *burre* ou *petite masse supérieure*. Cette construction a pour but de favoriser l'approche de l'ouverture pour la charge du fourneau, et de garantir les ouvriers d'acci-

dent; mais elle ajoute à la main-d'œuvre pour le jet du minerai et du combustible.

La plate-forme est entourée d'un mur, soit droit, soit incliné, qui fait enceinte extérieure : c'est ce qu'on appelle une *bataille*.

En Styrie et en Carinthie, la plupart des fourneaux sont surmontés d'une cheminée pyramidale de quinze à dix-huit pieds de haut, qui ajoute beaucoup au tirage, et a l'avantage de préserver le foyer des injures de la pluie et de la neige.

Assez généralement en France les massifs des hauts fourneaux sont revêtus de pierres d'appareil, et l'intérieur, entre la chemise et ce revêtement, avec du libage ou blocage. Mais, en Suède et en Angleterre, ce blocage de gros moellon est remplacé par de la terre bien battue. Il paraît que cette dernière construction a l'avantage de conserver la chaleur du fourneau, la terre étant moins conductrice du calorique que la pierre.

Les massifs doivent avoir une grande épaisseur, sans quoi l'action de la chaleur les ferait jouer et se lézarder. L'action du feu intérieur occasione une augmentation de volume dans la masse, qui varie en raison de la température de chaque tranche et des altérations que la température éprouve dans tout le vide. Voici le moyen que les Anglais ont imaginé pour se mettre à l'abri de ces crevasses dans les parois des fourneaux : ils ménagent dans l'épaisseur du massif, depuis le sol jusqu'au sommet de l'ouvrage, une espèce de zone d'environ six pouces de largeur, et ils la remplissent avec des fragments de grès tendre très anguleux. D'abord, lorsque l'expansion occasionée par la chaleur se manifeste, il se fait sans obstacle un écartement dans le sens de cette zone, qui offre moins de résistance que le reste de la paroi, et lorsque

ensuite les briques prennent du retrait par la continuité de la chauffe, les commissures de cette fente se rapprochent, et les fragments de grès tendre, qui, à cause de leurs angles, admettaient entre eux beaucoup de vide, sont broyés et tassés, en sorte qu'étant fortement comprimés, ils offrent un stratum vertical de sable qui s'oppose à l'échappement de la flamme.

L'intensité du feu est toujours plus grande depuis le sol jusqu'au tiers de la hauteur du fourneau; sa force et son action diminuent ensuite jusqu'à la partie supérieure.

L'espace vide qui se trouve dans le bas du fourneau est ordinairement très-petit; il va en s'élargissant jusqu'au tiers de la hauteur, et c'est à cet endroit que le feu fait son plus grand effort.

Trois motifs concourent à faire donner à la base du fourneau plus de largeur qu'à la partie supérieure, encore bien que le vide y soit moindre : 1° l'action de la chaleur; 2° le vide que nécessitent les embrasures, et qui affaiblit d'autant la résistance à la charge; et 3° enfin cette charge même. Ces trois considérations doivent déterminer à donner aux hauts fourneaux la forme d'une pyramide tronquée, qui ne s'élève ordinairement que jusqu'à moitié de la hauteur totale; le reste, à partir de cette troncature, s'élève quelquefois verticalement jusqu'au sommet de la plate-forme; d'autres fois l'inclinaison se continue jusqu'à ce sommet.

Ces deux formes, l'une d'un prisme posé sur une pyramide tronquée, l'autre d'une pyramide tronquée continuée dans toute la hauteur du fourneau, ont leurs avantages et leurs inconvénients.

Les fourneaux composés d'une partie prismatique posée sur une pyramide tronquée ont plus

de grâce et de solidité, et la plate-forme, ayant plus d'épaisseur, peut servir de dépôt aux substances que l'on jette dans l'intérieur du fourneau; elle peut encore donner de la facilité au travail, en permettant aux ouvriers de faire le tour de la burre. Mais cette forme exige un plus grand emploi de matériaux, une plus grande dépense de construction, et elle occasione aussi une plus grande charge sur la base, charge qui est souvent augmentée par les dépôts des minerais que l'on accumule sur la plate-forme, et qui fatiguent la base et les fondations.

La forme pyramidale est plus légère et plus économique.

Si les fourneaux n'avaient que vingt à vingt-huit pieds de hauteur au-dessus du sol, on pourrait leur donner la forme mixte d'un prisme posé sur une pyramide tronquée, parce que la surcharge ni l'excès de dépense ne sont pas trop considérables; mais lorsque les fourneaux ont de trente à soixante pieds de haut, on ne peut se dispenser de leur donner la forme d'une pyramide tronquée, et même dont la troncature soit la plus petite possible. Les fourneaux du Strattfordshire, dont la hauteur varie entre trente-six et soixante pieds, ont assez généralement la forme d'une pyramide tronquée, dont la plate-forme n'a quelquefois que le double de la largeur de l'ouverture de la cheminée.

On croit assez communément que la forme d'une pyramide tronquée posée sur un prisme, que l'on donne à quelques fourneaux (en observant de conserver un léger talus aux faces du prisme), doit, dans beaucoup de circonstances, être préférée, parce qu'elle procure de l'économie dans les matériaux, et que par cela même elle

diminue la charge qu'ils occasionent : car la forme prismatique, depuis la base jusqu'au milieu de la hauteur, est celle qui convient le mieux au vide de l'intérieur pour résister au feu et pour le vide des embrasures, ainsi que pour résister au poids total. La forme pyramidale de la partie supérieure est aussi celle qui est la plus convenable à la dimension du vide intérieur dans cette partie, au développement de la température et à la descente de la charge. Cette forme est presque généralement adoptée dans les usines à fer de l'état de Massachusetts aux Etats-Unis.

Les embrasures que l'on perce dans le massif des fourneaux, et qui servent à la manœuvre ainsi qu'à placer les machines soufflantes, ont la forme d'une pyramide tronquée renversée, dont la base peut être rectiligne ou curviligne. Celles à base rectiligne sont les plus simples : on les construit en pierres plates, que l'on pose sur des pièces de fonte ou gueuses. Les voussures à bases curvilignes sont d'une forme plus agréable ; elles sont plus solides, et on les construit en pierres de taille ou en briques. On peut alors leur donner la forme d'un cintre surbaissé, d'une demi-circonférence, ou bien d'un cintre élevé, ou en ogive.

La largeur des embrasures, pour les fourneaux de vingt-quatre pieds, doit avoir la moitié de celle de la base ; pour les fourneaux moins larges, un peu plus que moitié ; et pour les fourneaux plus larges, un peu moins. Cette largeur est subordonnée à l'espace nécessaire pour le travail, et à la grosseur et à la force que doit avoir le pilier qui sépare les deux embrasures, que l'on appelle *pilier de cœur*.

Il faut à l'embrasure du devant du fourneau

assez d'espace pour que les *gardes* puissent y manœuvrer commodément, pour que l'air y circule librement et que la chaleur puisse se dégager. La hauteur doit être de dix à dix-huit pieds pour des fourneaux de vingt à soixante pieds de vide intérieur. L'embrasure pour les machines soufflantes peut avoir des dimensions moindres : il suffit que le garde puisse aller à la tuyère pour l'arranger, la déboucher, et observer ce qui se passe dans le fourneau.

La flamme et les étincelles qui s'échappent du fourneau par l'ouverture de la *tympe*, et qui pourraient causer un incendie dans les bâtiments qui entourent le fourneau, doivent y être arrêtées et réfléchies par le bas. Voilà pourquoi, quand on a lieu de craindre ces accidents, on a soin d'interrompre la continuité de l'inclinaison des embrasures par une bande horizontale de quelques pouces de largeur. Les étincelles qui arrivent à cette hauteur sont arrêtées, et changent de direction.

Les quatre faces du fourneau ont des noms qui les font distinguer. On appelle *devant* le côté du travail, celui par où l'on coule ; *rustine*, le côté opposé ou le derrière du fourneau ; *côté du vent* ou *de la tuyère*, celui par où le vent arrive dans l'intérieur des fourneaux ; et enfin, *contre-vent*, le côté opposé.

La combustion dans les hauts-fourneaux est entretenue par des machines soufflantes : c'est ce qu'on appelle la soufflerie (*blast engine* des Anglais). Quand on est favorisé d'un cours d'eau dont on puisse disposer comme moteur, on ne manque pas d'en faire usage ; si, n'ayant pas de cours d'eau, le combustible est abondant, les machines à vapeur sont ce qui s'offre de mieux ;

et quand le combustible manque, il faut avoir recours aux animaux pour force motrice.

Les machines soufflantes, ayant à redouter l'intempérie de l'atmosphère, sont ordinairement placées sous un couvert, le seul qu'il faille de toute nécessité rapprocher du haut fourneau : ce n'est ordinairement qu'un simple appentis, qui lui est adossé.

Comme les fourneaux sont élevés au-dessus du sol, qu'ils sont isolés, et qu'il faut monter sur la plate-forme pour les charger par l'ouverture supérieure, on est obligé de pratiquer un chemin en talus sur le derrière du fourneau, par le côté de la rustine, afin de faciliter le transport, ou de construire une machine à l'aide de laquelle le minerai et le combustible puissent être élevés sur la plate-forme.

Dans quelques pays, comme en Italie, dans le département de l'Isère, etc., dans la vue de faciliter l'accession de la plate-forme, on adosse les fourneaux à la montagne ; néanmoins ce mode entraîne souvent avec lui de fâcheux inconvénients, à cause de l'infiltration des eaux, qui peuvent arriver jusque dans l'intérieur. Mais on peut sans risques tirer parti du voisinage d'une montagne ; on en approche le fourneau de quelques pas seulement, et on jette un pont volant du revers de la montagne à la plate-forme.

DE LA CAPACITÉ ET DE LA FORME INTÉRIEURE DES HAUTS FOURNEAUX.

On a donné à l'espace vide dans lequel se fondent les minerais le nom de *cheminée intérieure* ou *cuve*. Plusieurs causes raisonnées sont suscep-

tibles de faire varier cette capacité et sa forme ; mais le plus souvent les différences apportées dans la construction ont été tout-à-fait arbitraires, et rien n'en indiquait la nécessité. C'est une des parties de l'art des forges qui appelle le plus impérieusement un examen éclairé par les données d'une saine physique, et par l'observation de ce qui se passe dans la fonte des diverses natures de minerai.

Pour ce qui est de la forme, c'est ou un prisme, ou une pyramide, ou un ellipsoïde, ou la réunion d'un prisme et d'une pyramide, ou enfin de deux pyramides opposées base à base.

Les *stuck-offen* de Styrie et de Carinthie sont des pyramides irrégulières posées sur leur base.

Quelques fourneaux de France, tels que celui de Grossouore, ainsi que ceux de l'Angoumois, sont octogones sur les bases des pyramides, et quadrangulaires vers leurs sommets tronqués.

Les fourneaux de Bohême, de Saxe, de Russie, de Sibérie, des Etats-Unis d'Amérique; presque tous ceux de Suède, de Norwége et d'Angleterre, ont la base de leur pyramide circulaire.

D'après une telle variété dans les formes, il semblerait que l'arbitraire dans cette partie serait absolument indifférent ; il n'en est cependant certainement pas ainsi, et il est nécessaire de discuter la forme que l'on doit adopter. Il convient de considérer :

Que la cuve des hauts fourneaux, destinés à fondre le minerai, est remplie de ce minerai et de combustible. L'air atmosphérique nécessaire à la combustion arrive par une ouverture appelée *tuyère*, pratiquée dans la partie inférieure, à quelques pouces d'élévation au-dessus du sol ; cet air, en traversant les différentes couches de com-

bustible, leur cède une portion de son oxygène, ce qui diminue la proportion de ce gaz à mesure que l'air s'élève; il devient d'ailleurs, pendant son ascension, de plus en plus mêlé de gaz acide carbonique, et d'oxide de carbone. Si la hauteur du fourneau était trop grande, il arriverait un moment où le fluide ne serait plus composé que d'azote et de gaz charbonneux à une certaine distance de la tuyère : alors il ne pourrait plus entretenir la combustion.

On trouve dans les Annales des mines que des expériences faites à l'école pratique de Moustiers ont fait connaître que, dans des fourneaux prismatiques, la température provenant de la combustion va toujours croissant jusqu'à une certaine distance au-dessus de l'ouverture par laquelle la masse d'air arrive, et qu'ensuite elle diminue progressivement en suivant une loi qui est sensiblement en progression géométrique décroissante, pour des hauteurs de fourneaux en progression arithmétique.

D'après ces données, on a cherché l'application d'une théorie raisonnée à la construction des fourneaux; l'on s'est dit :

La température est le produit de l'accumulation du calorique dégagé du carbone et de l'oxygène pendant leur combinaison; plus la quantité de ces substances est grande, plus il se brûle de combustible dans un temps donné, plus il y a de calorique de dégagé, et plus la température est élevée. Or, toutes choses égales d'ailleurs, elle doit varier avec la proportion d'oxygène libre et non combiné avec du carbone qui est contenu dans la masse d'air; et comme cette proportion diminue à mesure que l'air s'élève à travers le combustible (à cause des combinaisons qui s'y forment

successivement), la température doit diminuer avec l'élévation : elle devrait cesser de croître lorsque l'air ne contient plus d'oxygène qui puisse encore se combiner avec du carbone.

Cette loi de la répartition de la chaleur résultant de la proportion d'oxygène contenu dans la masse d'air, et qui se combine avec le carbone en traversant chaque tranche de ce combustible, est modifiée : 1° par la température de l'air ; 2° par celle qu'a acquise le combustible contenu dans chaque tranche ; 3° par la propagation de la chaleur de tranche en tranche ; 4° par l'action des parois ; 5° par l'air froid en contact avec l'ouverture supérieure ; 6° par la température de l'air qui sort par l'ouverture supérieure.

L'air en arrivant est froid ; et quoique la quantité d'oxygène qui se combine avec la première tranche de combustible qu'il rencontre d'abord soit plus grande que celle qui se combine ensuite avec la seconde, comme il y a une quantité de chaleur employée à élever l'air à la température du milieu qu'il traverse, cette quantité diminue celle que la tranche du fourneau aurait pu acquérir. C'est donc à une petite hauteur au-dessus de l'origine de la première tranche que doit être la plus haute température. C'est de ce point qu'elle doit décroître, jusqu'à ce qu'enfin il ne se combine plus d'oxygène avec le combustible des tranches supérieures.

Après avoir traversé la première tranche de combustible, l'air échauffé s'élève successivement à cause de la légèreté qu'il acquiert ; il augmente de température en s'élevant, et il arrive enfin à une température égale à celle des tranches qu'il traverse. En continuant de s'élever, il traverse des tranches de combustible moins

échauffées que lui-même, et il leur abandonne une partie de son calorique. Comme chaque tranche de combustible est déjà échauffée par la chaleur qui se dégage de la combustion, il résulte de ce calorique enlevé, et de celui qui a été abandonné par l'air en traversant chaque espace, que, depuis le point où l'air entre dans le fourneau, jusqu'à la tranche de combustible qui est en équilibre de température avec l'air qui la traverse, la chaleur des espaces traversés est moins grande que celle qui aurait eu lieu, si la quantité de calorique dégagée de la combustion n'eût pas été diminuée de toute la chaleur enlevée pour augmenter la température de l'air; mais à partir de ce point, de cette tranche d'équilibre de température, toutes celles qui sont au-dessus ont une température plus élevée que celle qui résulte de la combustion seule, parce que ces tranches sont moins chaudes que l'air qui leur arrive. Ainsi, lorsque la masse d'air qui traverse le fourneau est parvenue à une hauteur où il ne se produit plus de combustion (parce que le fluide élastique est saturé de carbone), elle peut encore échauffer les tranches qu'elle traverse, en leur abandonnant une partie de la chaleur qu'elle a enlevée aux premières.

Le calorique dégagé dans chaque tranche se répand de proche en proche dans toutes les parties du fourneau qui sont moins échauffées. Cette propagation est le résultat 1° du rayonnement du calorique qui traverse tous les interstices, et qui se réfléchit de la surface des corps solides qu'il rencontre; 2° de sa transmission à travers les corps conducteurs. Or, comme les minerais et les charbons embrasés qui remplissent la cuve sont d'assez bons conducteurs de calorique, ce-

lui-ci s'nfiltre à travers ces substances pour se porter partout où la température est moins élevée.

En se propageant dans la cuve, le calorique parvient jusqu'aux parois du fourneau; il élève leur température, les pénètre, et passe ensuite à travers le massif jusqu'à la surface extérieure, qui s'échauffe assez fortement pour que la chaleur soit sensible au toucher. L'échauffement des parois et la filtration du calorique à travers le massif du fourneau sont autant de causes qui contribuent à diminuer l'action de la chaleur interne.

L'ouverture supérieure du fourneau est en contact avec l'air de l'extérieur, qui, étant plus froid que la tranche de combustible qu'il touche, lui enlève une partie de son calorique. La tranche supérieure, ainsi refroidie, enlève à son tour de la chaleur à celles qui la suivent, et ce refroidissement, qui continue depuis l'ouverture jusqu'au centre, oblige la chaleur à se propager du centre du fourneau à l'ouverture supérieure, pour remplacer celle que l'air a enlevée.

Enfin, les gaz carbonés, lorsqu'ils sortent de la partie supérieure du fourneau, conservent encore une assez grande quantité de chaleur pour s'enflammer spontanément lorsqu'ils rencontrent de l'oxygène ou de l'air atmosphérique qui en contient. C'est cette inflammation qui produit la grande et belle lumière qu'on aperçoit au-dessus de l'ouverture des fourneaux.

Toutes ces causes, réunies à un grand nombre d'autres qu'il est inutile ici d'indiquer, contribuent, les unes à diminuer la chaleur du fourneau, les autres à modifier la loi de variation de température qui s'établit dans son intérieur. Pour

bien déterminer cette loi par le raisonnement seul, il faudrait connaître parfaitement toutes les causes qui influent sur la répartition de la chaleur, et la manière dont elles agissent. La difficulté d'acquérir ces connaissances a déterminé à abandonner cette méthode : on s'est contenté de consulter l'expérience. Elle a donné ce résultat remarquable, que dans un fourneau prismatique (à partir du point où la température est la plus haute) les degrés de chaleur, soit en montant, soit en descendant, suivent une progression géométrique décroissante pour des tranches en proportion arithmétique.

On a fait d'autres expériences, en augmentant la surface des tranches horizontales des fourneaux prismatiques, ainsi que la quantité d'air envoyée dans un temps donné : elles ont appris que, plus la surface des tranches est grande, plus la température de celles qui avoisinent l'ouverture par laquelle entre l'air est considérable ; mais aussi, lorsque la masse d'air est la même, la loi de décroissement de chaque tranche est d'autant plus rapide que les tranches horizontales ont plus de surface. Il faut, pour conserver la même loi de décroissement, quelle que soit la surface des prismes, augmenter la quantité d'air qui entre dans le fourneau, en même temps qu'on augmente la grandeur de sa base.

On a observé, dans ces expériences, qu'en augmentant la quantité d'air dans le même rapport que la base des prismes, le maximum de température suivrait une loi telle que, si l'on rapportait les quantités d'air lancées sur l'axe d'une parabole, et qu'on les considérât comme des abscisses, les températures correspondantes pouvaient être représentées par les ordonnées. Dans

toutes ces expériences les températures ont été déterminées suivant quatre méthodes différentes : 1° au moyen de barres placées à différentes hauteurs dans l'intérieur du fourneau, d'après la méthode indiquée par M. Biot ; 2° par la durée du refroidissement des masses de fer qui ont séjourné assez de temps dans diverses parties du fourneau pour acquérir la température du point où elles étaient ; 3° par l'immersion du fer dans l'eau, ainsi que l'indique Coulomb ; 4° enfin par la quantité de fer qui se fond, dans un temps donné, à l'extrémité des barres d'une même grosseur. Les résultats annoncés d'après les expériences sont en quelque sorte une moyenne entre toutes les expériences faites par ces quatre méthodes. (*Travaux de recherches de l'Ecole des mines de Moustiers.*)

Cette loi que suit la température des fourneaux prismatiques, lorsque l'on augmente leur base et leur hauteur, ainsi que la quantité d'air que l'on y fait entrer, pouvait être prévue en partie par le raisonnement : car l'augmentation de la chaleur dans les fourneaux doit être proportionnelle aux masses de combustible brûlé dans un temps donné ; et ces masses, lorsque les combustibles sont les mêmes, sont sensiblement comme les volumes. Dans des fourneaux de même forme, dont toutes les dimensions ont augmenté dans la même proportion, les volumes sont comme les cubes des côtés homologues. Ainsi, l'augmentation de température devrait être comme le cube de l'un des côtés, si le combustible était enveloppé d'une substance imperméable à la chaleur ; mais les parois du fourneau peuvent être considérées comme des filtres à travers lesquels la chaleur se dégage ; et leurs surfaces, pour des

fourneaux de même forme, sont comme les carrés des côtés homologues. Ainsi, s'il n'existait que ces deux causes, l'une d'augmentation, l'autre de diminution de température, les effets seraient comme les cubes sont aux carrés des mêmes côtés. Mais de l'air froid qui entre dans le fourneau, et qui en sort avec une chaleur assez grande pour faire enflammer au contact de l'air atmosphérique le carbone qu'il a dissous, occasione une déperdition d'autant plus grande que sa masse est plus considérable et que la température intérieure est plus élevée. De plus, cette déperdition de la chaleur qui s'infiltre à travers la masse est elle-même d'autant plus considérable que la température est aussi plus élevée. Ces effets, qui agissent en sens contraire, les uns pour augmenter la température, les autres pour la diminuer, sont tels, que, lorsqu'elle est peu considérable, la quantité de chaleur perdue est très petite par rapport à celle qui a été dégagée; tandis que, à mesure que la température augmente, la proportion de chaleur perdue augmente aussi, mais dans un rapport beaucoup plus grand, ce qui conduit naturellement à une loi d'augmentation de température peu différente de celle qui représente la courbe d'une parabole.

Si l'air qui passe dans tous les points d'une tranche de combustible avait une même proportion d'oxygène, il aurait une tendance à y combiner des quantités de gaz semblables, et il s'y dégagerait des quantités égales de calorique; il s'établirait un équilibre de température dans toutes les tranches. Mais la chaleur ainsi dégagée se propage de deux manières, comme nous l'avons déjà dit : l'une en vertu de la conductricité du charbon rouge et du minerai échauffé, et l'autre sous

la forme de calorique rayonnant. La première se propage par le contact; la seconde s'élance de tous les points de la surface des deux substances en ignition : elle se propage comme la lumière. Les parois en contact avec le combustible reçoivent du calorique de l'une et de l'autre manières; ils en absorbent pour se mettre en équilibre de température avec la tranche. Le calorique qui leur arrive se divise en deux parties : l'une s'infiltre à travers la masse; l'autre, beaucoup plus grande, se réfléchit en suivant la loi à laquelle le calorique rayonnant est soumis, c'est-à-dire en faisant les angles de réflexion égaux aux angles d'incidence. Cette chaleur réfléchie de toute part augmente la température dans diverses parties de la tranche, et cela en raison de la forme du périmètre des tranches ou de la surface de la cuve. Si la coupe horizontale est rectangulaire, la plus grande chaleur de chaque tranche se trouve dans les deux droites parallèles aux faces qui passent par le centre de la tranche. Si la coupe horizontale est circulaire, le centre du cercle sera le point de plus grande chaleur, parce que c'est celui où arrivent toutes les normales à la surface.

Or, comme dans le travail d'un fourneau il est avantageux d'avoir une ligne de plus grande température bien déterminée, afin de pouvoir y diriger dans le besoin les substances les plus difficiles à fondre, il est donc nécessaire que les plans de ces tranches soient des cercles; et bientôt nous verrons que ce sont ceux que l'expérience a indiqués comme les meilleurs, et qu'il faut toujours préférer.

On se contentera d'observer ici que dans les fourneaux carrés les angles sont le plus souvent vides de charbon, et que rarement il y arrive du

minerai ; que l'air se porte tumultueusement dans ces espaces vides, et dérange la marche uniforme du fourneau, dérangement qui n'arrive pas ainsi ordinairement dans les fourneaux circulaires.

Au moyen de ce petit nombre de données sur la marche et la répartition de la température dans les fourneaux, on peut procéder à l'examen, et discuter jusqu'à un certain point ce qui se passe dans chaque espèce de fourneau.

Lorsque la cuve est prismatique, comme dans quelques fourneaux de Bohême, la plus haute température est près de la tuyère. Dans le cas où cette température serait justement celle nécessaire à la fusion du minerai, il faudrait que celui-ci arrivât absolument à ce point fixe et constant pour être fondu ; et si, par la vitesse que chaque morceau doit avoir en descendant, il ne reste pas assez long-temps dans cette tranche *de plus haute température* pour y être fondu au passage, il doit tomber au-dessous de la tuyère sans avoir été liquéfié, et alors ne trouvant plus une chaleur assez élevée pour être fondu, il restera sous la forme de minerai simplement agglutiné. On voit, par cette seule considération, qu'indépendamment de la préparation à la fusion que chaque morceau éprouve en descendant avant d'arriver à la tranche de plus haute température, il faut encore qu'il y reste assez long-temps pour y être liquéfié. Il se présente deux manières de l'y retenir le temps convenable : 1° en empêchant le minerai de descendre si vite, et en le retenant plus long-temps dans cette même position ; 2° en lui faisant traverser une tranche de haute température assez étendue pour que, dans sa chute, il puisse y demeurer le temps nécessaire à sa fusion totale.

Lorsque le fourneau a une forme prismatique,

rien n'arrête le minerai dans sa marche. Sa pesanteur, plus grande que celle du charbon, le fait au contraire descendre plus vite, et cette vitesse est encore augmentée par la consommation rapide du combustible dans les tranches qui ont une haute température. Dans ce cas, le seul moyen que l'on ait à sa disposition, c'est de former un long espace dans lequel la température devienne propre à la fusion du minerai, ce qui exigerait que le maximum de température fût beaucoup plus élevé qu'il ne le serait dans toute autre circonstance, et de là s'ensuivrait une grande consommation de combustible.

Si l'on donne à la cuve des fourneaux la forme d'une pyramide tronquée, cette pyramide peut être posée sur sa base ou sur son sommet. Quelle sera la marche de la chaleur dans l'un et l'autre cas?

Si la pyramide est posée sur sa troncature, la température doit diminuer successivement dans toute la hauteur à partir de la tuyère, et cela à cause de la plus petite proportion d'oxgyène contenue dans l'air qui traverse chaque tranche; mais aussi la température doit croître, dans chacune d'elles, 1° avec l'augmentation des volumes, 2° avec la diminution de vitesse de l'air en montant, laquelle est occasionée par l'agrandissement des surfaces. La marche de la température suivra donc deux lois : l'une de diminution progressive, comme dans les prismes; l'autre d'augmentation avec les bases. Ces deux lois, qui agissent en sens contraire, concourent à établir, à une plus grande hauteur, la tranche qui aura la plus haute température. Les lois d'augmentation et de diminution, à partir de cette tranche, étant moins rapides que dans le prisme, on ne sera pas

obligé d'élever le maximum de chaleur à un aussi haut degré, pour établir un intervalle assez grand, dans lequel le minerai puisse fondre. De plus, le rétrécissement successif des surfaces, à mesure que le minerai descend, diminue la vitesse de sa chute, parce qu'il est toujours resserré et comprimé avec le charbon, et qu'il est forcé de mettre plus de temps à parcourir les hauteurs égales des tranches successives.

Mais si cette forme de fourneaux, usitée en Italie, présente les deux avantages d'avoir le maximum de température à une plus grande hauteur au-dessus de la tuyère, et de retarder le temps de la descente du charbon dans les tranches plus échauffées, elle a aussi deux défauts assez considérables qu'il faut soigneusement éviter : le premier, que la normale à la surface contribue, en s'élevant, à donner au calorique rayonnant une direction ascensionnelle qui favorise sa dissipation par l'ouverture supérieure; le second, que, cette ouverture étant très large, une grande surface de combustible est en contact avec l'air extérieur; celui-ci, beaucoup plus froid que le combustible, lui enlève une grande partie de sa chaleur, et le refroidit d'autant plus que la surface de contact est plus grande; cette diminution se propage dans l'intérieur à une grande distance, parce que le refroidissement est très considérable. Cette dernière cause, contribuant à faire perdre une portion de calorique plus grande que celle que l'on perd dans le prisme, doit être évitée, ou du moins très modifiée.

Lorsque la pyramide est posée sur sa base, comme dans plusieurs *stuck-offen* de Styrie et de Carinthie, dans quelques fourneaux à moulage, etc., la variation de température occasionée par

la plus grande diminution de l'oxygène dans la masse d'air pendant qu'il s'élève, et par les grands diamètres des tranches inférieures, concourt encore à faire diminuer la température de celles-ci à mesure que leur hauteur augmente; ces deux causes portent le maximum de chaleur à la tranche qui est très voisine de la tuyère. Ainsi, pour que la température propre à la fusion se répandît dans une étendue un peu considérable, il faudrait que le maximum de chaleur fût beaucoup plus élevé en degrés que dans la cuve prismatique, non seulement à cause de la marche de la température, mais encore à cause de l'accélération dans la vitesse de la descente du minerai, vitesse qui l'empêche de rester assez long-temps dans la tranche de haute température pour y être fondu; et comme il arrive constamment de nouvel air qui consume rapidement le charbon qui est près de la tuyère, il se forme de grands espaces vides à travers lesquels le minerai, plus pesant que le charbon de bois ou même de houille, coule et tombe rapidement.

Cette forme a cependant quelques avantages : 1° le calorique rayonnant est dirigé par le bas; 2° l'ouverture de l'embouchure supérieure est diminuée, et par là elle occasione moins de refroidissement ou de perte de calorique.

Ces formes, que l'on peut employer pour les *stuck-offen* avec quelque avantage, présentent pour les *fluss-offen* un grand défaut, que ceux-ci partagent avec les fourneaux prismatiques : c'est que, le fond de ces fourneaux (sur lesquels le métal fondu se réunit) étant très large, la fonte s'oxide facilement, se fige trop promptement, et se sépare avec difficulté de ses scories. L'expérience, d'accord avec la théorie, apprend que les creu-

sets des hauts fourneaux qui reçoivent le métal en fusion doivent avoir de petites dimensions, pour conserver la fonte à l'état liquide et l'épurer.

Les fourneaux dont le vide intérieur se compose d'un prisme posé sur une pyramide renversée, comme celui de Laurwig en Norwége, participent à la fois de l'avantage du fourneau pyramidal posé sur sa troncature, et du désavantage du fourneau prismatique; la large ouverture du gueulard occasione une trop grande perte de chaleur.

De toutes les formes de fourneaux, celle qui réunit le plus d'avantages avec le moindre nombre d'inconvénients, c'est celle où la cuve est composée de deux pyramides opposées base à base: c'est la forme adoptée en Styrie, en Carinthie, et, à quelques modifications près, par tous les maîtres de forges intelligents.

La pyramide inférieure, posée sur sa troncature, a le double avantage d'élever le foyer, c'est-à-dire la tranche de plus haute température, de la placer à une distance assez grande au-dessus de la tuyère, et de ralentir la chute du minerai de manière à le maintenir long-temps dans l'espace propre à la fusion. La pyramide supérieure, posée sur sa base, diminue l'ouverture ou la surface de contact avec l'air, par conséquent la cause du refroidissement qu'elle fait naître. L'inclinaison des parois de la pyramide supérieure réfléchit la chaleur rayonnante par le bas, et augmente par ce moyen la température du foyer; on peut même donner à la pyramide inférieure une inclinaison telle que le maximum de température soit à la partie la plus large de la cuve, c'est-à-dire à la réunion des bases des deux pyramides: à partir de ce point, la chaleur peut diminuer insensiblement jusqu'à la tuyère, de manière à rete-

nir très long-temps le minerai exposé à la plus haute température du fourneau, qui est celle de la fusion.

Les fourneaux dont la cuve a la forme d'un ellipsoïde de révolution tronqué aux extrémités du grand axe, tels que plusieurs *stuck-offen* de Styrie et de Carinthie, peuvent être considérés comme une modification de deux pyramides opposées base à base. Quelques métallurgistes, séduits par cette propriété qu'a l'ellipsoïde de réfléchir toute la chaleur de l'un de ses foyers à l'autre, pouvaient encore les regarder comme un perfectionnement de la première forme; mais il ne faut pas s'abuser sur l'effet de la réflexion de la chaleur rayonnante, car son influence n'est pas aussi grande que l'on pourrait être porté à le croire. Les résultats de la réflexion de la chaleur par les parois d'un fourneau vide et libre sont considérablement contrariés par la matière du combustible et par celle du minerai qui remplissent la cuve. Tout porte même à croire que les réflexions diverses qui ont lieu sur la surface de ces substances produisent des effets qu'il est impossible d'apprécier. Ce sont donc moins les résultats de la réflexion de la chaleur rayonnante qu'il faut considérer dans la théorie de la distribution de la température dans la cuve d'un haut fourneau que la répartition qui résulte de la proportion d'oxygène dans la masse du combustible embrasé à la fois, et du refroidissement occasioné par le contact des parois et celui de l'air intérieur à l'ouverture.

Nous voilà donc arrivés, par des considérations de pure théorie, à une forme assez avantageuse; et ce qu'il y a de remarquable, c'est que c'est précisément celle qui est le plus généralement adoptée, et à laquelle il paraît que l'on ne s'est arrêté que par une longue suite de tâtonnements.

Il faut maintenant examiner quelles doivent être les dimensions et les proportions des hauts fourneaux, en partant de ce principe, « que le diamètre doit augmenter à partir du sol jusqu'à une certaine hauteur, et diminuer ensuite jusqu'à l'ouverture supérieure ».

Les cuves des hauts fourneaux construites d'après ce principe se divisent en deux parties, à partir de leur plus grand diamètre : la pyramide supérieure, connue sous le nom de *grande masse*, de *cheminée supérieure*, ou de *la charge;* la pyramide inférieure, connue sous le nom de *grand foyer*. C'est dans la partie supérieure que le minerai s'échauffe, se réduit, se désoxide et se prépare à la fusion; c'est dans la partie inférieure qu'il reçoit sa haute température, qu'il fond, qu'il coule dans le creuset, et se sépare des verres terreux, des laitiers. Ces deux parties du fourneau offrant des effets tout-à-fait différents, doivent aussi avoir des formes et des proportions analogues aux effets qu'elles doivent produire.

La grande masse ou *la charge* n'est formée dans quelques fourneaux que d'une seule pyramide. L'ouverture supérieure se nomme *gueulard;* la base de la pyramide, la partie la plus large du fourneau, prend le nom de *ventre*, ou *foyer supérieur*. Le sommet de la pyramide est souvent terminé par un prisme, ou par une espèce d'entonnoir auquel on donne le nom de *petite masse supérieure*, ou de *bure*. Cette petite masse est la mesure ou le volume du combustible, du minerai et des fondants que l'on jette à la fois dans le fourneau, et auquel on donne le nom de *charge*. Les chargeurs sont munis d'une verge de fer coudée qu'ils nomment *bécasse*, avec laquelle ils mesurent le point où la charge est descendue; ils dé-

terminent par ce moyen le moment où il faut charger de nouveau.

Le *grand foyer*, ou le vide intérieur, n'est composé dans quelques fourneaux, tels que ceux de Styrie et de Carinthie, que d'une seule pyramide tronquée, posée sur son sommet ou sa troncature; mais dans le plus grand nombre des fourneaux le grand foyer se divise en deux ou trois parties. Lorsqu'il est divisé en deux, la partie inférieure, que l'on nomme *creuset* (parce que le métal fondu s'y dépose et s'y accumule), a la forme d'un prisme. Lorsque le grand foyer est divisé en trois parties, la première a la forme d'une pyramide très évasée, à laquelle on a donné le nom d'*étalages;* la seconde, qui est placée au milieu, est une pyramide tronquée dont les faces sont peu inclinées; on la nomme *l'ouvrage;* enfin la troisième a ordinairement la forme d'un prisme quadrangulaire, qui prend le nom de creuset.

Chacune des deux parties qui composent la cuve, et celles de ses divisions, ont des proportions différentes dans chaque pays : il convient d'examiner ici et de discuter ces proportions.

Pour s'assurer si elles ont quelque influence sur la marche des fourneaux, sur la qualité du fer qu'on obtient, et sur l'économie du combustible que l'on emploie, il faut d'abord comparer les produits des fourneaux relativement à leur hauteur, ensuite par rapport à la position du plan de séparation des deux pyramides, puis à la grandeur de leur base, à la forme des étalages, au nombre des tuyères, enfin à la nature du minerai que l'on y traite.

Pour obtenir un résultat utile de la comparaison de la marche et des produits des fourneaux qui ont des formes et des hauteurs différentes, il faut d'abord choisir parmi ceux dont le travail

est le même, et dans lesquels on brûle le même combustible : ainsi il convient de distinguer les fourneaux qui servent à fondre le minerai avec du charbon de houille ou coke de ceux dans lesquels on le fond avec du charbon de bois. Parmi ces derniers, il y en a qui ne fondent que pendant six jours de la semaine, et qu'on laisse reposer le septième : tels sont les *stuck* et les *fluss-offen* de Styrie et de Carinthie, qui n'ont que douze pieds de haut ; tous les autres restent en feu, et continuent de fondre aussi long-temps que les parois intérieures du fourneau, l'approvisionnement des combustibles et du minerai, etc., le permettent. Cette différence entre la durée du travail de ces deux espèces de fourneaux doit encore déterminer à ne comparer entre eux que les produits des derniers ; ce sont aussi ceux dont on fait le plus généralement usage.

COMPARAISON DES FOURNEAUX SOUS LE RAPPORT DE LEURS DIFFÉRENTES HAUTEURS.

La hauteur des fourneaux dans lesquels on brûle du charbon de bois, et dans lesquels la fusion se continue aussi long-temps que les circonstances le permettent, varie entre seize et quarante-cinq pieds, depuis le fond du creuset jusqu'à l'extrémité du gueulard. Dans la première de ces dimensions l'on trouve le fourneau de Neuberg en Styrie : il consume deux cent vingt et une parties pondérables de charbon pour en produire cent de fonte. Dans la seconde dimension se range le fourneau de Newjamskoi en Sibérie : il consume cent cinquante-neuf parties de charbon pour produire la même quantité de fonte. Si l'on ne considère que ces deux résultats, qui offrent seulement la comparaison de deux fourneaux de hauteur différente,

on est tenté de conclure que plus les fourneaux sont hauts, et plus ils sont avantageux sous le rapport de l'emploi du combustible. Mais il faut se défendre d'un jugement aussi précipité, car on ne peut établir rationnellement aucune comparaison entre les produits de ces deux fourneaux. Le premier est employé à fondre des minerais de fer spathique; sa cuve, formée de deux pyramides opposées base à base, et dont le foyer supérieur a six pieds de large, n'est élevée que de cinq pieds six pouces au-dessus du fond du creuset. L'autre fourneau est destiné à fondre des oxides mamelonnés rouges et bruns, et des oxidules métalloïdes; le ventre, qui a onze pieds de diamètre, est élevé de six pieds au dessus du fond du creuset, et le grand foyer est composé d'étalages, d'une petite masse et d'un creuset. Ainsi les deux résultats cités ne peuvent être comparés ni par la nature du minerai que l'on traite, ni par la forme du grand foyer du fourneau.

Si l'on voulait conclure les hauteurs les plus favorables des fourneaux d'après la plus grande quantité de fonte qu'ils produisent avec la même quantité de combustible, il faudrait comparer entre eux des fourneaux de même forme, employés à fondre des minerais semblables, et, autant qu'il serait possible, dans le même pays, afin que le mode de travail fût le même. L'ouvrage de Marcher fournit à cet égard un objet de comparaison précieux : c'est le tableau de la consommation du charbon, relativement à la quantité de fonte obtenue dans un grand nombre d'usines de Styrie et de Carinthie, dont les fourneaux ont des formes analogues, et dans lesquels on traite le même minerai, qui est du fer spathique, où l'on emploie des charbons qui offrent peu de différence dans leur combustibilité, et où les ouvriers suivent une même méthode.

TABLEAU

DE COMPARAISON POUR LES CONSOMMATIONS ET PRODUITS DE VINGT-CINQ HAUTS FOURNEAUX DE STYRIE ET DE CARINTHIE.

DÉSIGNATION DES FOURNEAUX.	HAUTEUR DES FOURNEAUX			LARGEUR		CONSOMMATION		POIDS	
	totale.	de la charge.	du grand foyer.	du ventre.	du gueulard.	d'air en une minute.	de charbon pour 100 livres de fonte.	de fonte pour 100 livres de minerai.	de fonte dans les 24 heures.
CARINTHIE.	pieds.	pieds.	pieds.	pouces.	pouces.	pieds cub.	livres.	livres.	quint.
1 des terres de la famille de Rauscher.	18	9	9	45	17	400	138	43	51
2 Idem.	18	9	9	45	17	500	137	42	52
3 Idem.	18	9	9	45	17	500	128	43	56
4 Idem.	20	10	10	45	17	600	117	43	63
5 Idem.	20	10	10	45	17		110	42	64
6 Idem.	24	14	10	46	17		106	42	67
7 Idem.	24	14	10	48	17		95	45	71
8 Idem.	30	20	10	48	20	650	95	47	75
9 Idem.	29 5	20	9 5	48	23	550	131	47	86
10 de Saint-Léonard.	20 9	10 6	9 6	48	18		260	37	31
12 de Sainte-Gertrude.	20 6	10 3	9 9	46	18		299	45	35
14 Idem.	23 6	11 9	11 9	48	20		183	40	48

21 Huttenberg.	22	13	9	48	20		184	48	61
22 de Mossinz.	27	17	10	48	24	700	150	52	79
23 de Loelling.	28	18	10	54	20		107	50	88
24 de Huttl.	28	18 6	9 6	51	23 6		195	38	71
25 de Feystritz.	28 6	16 8	11 10	63	22	1500	99	46	80
STYRIE.									
26 Neuberg.	16 6	11 3	5 3	72	26	400	221	36	32
27 Idem.	21	13 9	7 3	72	26	5 à 600	196	32	40
29 Idem.	24	14 9	9 3	72	25		130	32	50
30 Gollrath.	21	10	11	54	24		214	41	34
32 Idem.	24	12 9	11 3	44			156	46	46
34 Vordernberg.	17	11	6	46	13	4 à 500	147	47	50
35 Idem.	18	11 3	6 9	51	16		132		60
36 Idem.	19	12 8	6 4	50	18		132		60
37 Idem.	19	12 7	6 5	54	19	6 à 700	117		70
38 Eisenertz.	19	13	6	80	34	8 à 900	184	40	80
39 Idem.	19								
41 de Lichtenstein.	23 9	12 9	11	40	18	800	160	53	30
FOURNEAUX A DEUX TUYÈRES.									
CARINTHIE.									
69 à Treybach.	35	25	10	72	24	1800	123	48	112
STYRIE.									
72 à Vordernberg.	19	12	7	60	21	1000	132	50	95
73 Idem.	20	13	7	58	21	800	107	50	80
74 à Eisenertz.	30	19	11	96	30	1000	182	40	110
76 aux bénédictins de Rettelstein.	20			62	21		66	26	53

En comparant dans ce tableau la consommation aux produits, on voit que, de tous ces fourneaux, le plus avantageux est celui des bénédictins de *Rettelstein*, qui a vingt pieds de haut, et qui ne consume que soixante-six parties pondérables de charbon pour cent de fonte obtenue; mais on voit aussi que le moins avantageux est celui de Sainte-Gertrude en Carinthie, qui a également vingt pieds six pouces de haut, et qui consume deux cent quatre-vingt-dix-neuf parties de charbon pour cent de fonte.

Le fourneau le plus haut, celui de Treybach en Carinthie, qui a trente-cinq pieds d'élévation, consume cent vingt-cinq parties de charbon pour cent de fonte, et celui de Vordernberg en Styrie (qui est un des plus bas, puisqu'il n'a que dix-sept pieds de haut) ne consume que cent cinquante-sept de charbon pour cent de fonte. On voit encore qu'entre six fourneaux de vingt pieds de haut, savoir, deux des terres de la famille de Rauscher, un de Saint-Léonard et un de Sainte-Gertrude en Carinthie, un de Vordernberg, un de Rettelstein en Styrie, le premier consume cent dix-sept, le second cent dix, le troisième deux cent soixante, le quatrième deux cent quatre-vingt-dix-neuf, le cinquième cent dix-sept, et le sixième soixante-six parties de charbon pour produire cent de fonte. Ainsi, du plus fort au plus faible, dans des fourneaux de même hauteur, la consommation du charbon est comme 1 est à 4,5.

L'ouvrage très méthodique de Marcher présente un grand nombre de comparaisons entre la

dépense et les produits des fourneaux, et leurs dimensions. Voici encore quelques uns des résultats qu'il a fait connaître.

TABLEAU.

TABL

DES CONSOMMATIONS ET DES PRODUITS DE SEI

LIEUX DES FOURNEAUX.	DIMENSIONS DES FOURNEAUX.					
	HAUTEUR			LARGEUR		
	totale.	de la charge.	du grand foyer.	du ventre.	du gueulard.	du creus
	pds. p.	pds. p.	pds. p.	pouces.	pouces.	pouc
BOHÈME.						
42 Horzowitz.	32			84		
BASSE-HONGRIE.						
44 Libethen.	23 6	14 3	9 7	57	23	15
45 Poinick.	25	16	9	64	25	15
46 Rohnitz.	25	16	9	57	25	13
47 Idem.	28	18 8	9 3	64	26	13
48 Theisholz.	25	17 1	7 11	64	23	12
NORWÉGE.						
51 Lauerwig.	29 4	20 7	8 9	9 4	47	25
SAXE.						
52 Saint-Georgen-Stadt.	19 6	13 7	5 11	56	27	14
HESSE.						
55 Schmalkalden.	20 8	10 9	9 11	63	20	24
SIBÉRIE.						
60 Ruschwinskoï.	23 9	17 8	6 1	80		22
61 Idem.	35 2	29 1	6 1	106		
65 Petrokamenskoï.	35 3	22	13 3	137	74	23
68 Newjamskoï.	41	27 7	13 5	137	80	31
SUÈDE.						
A DEUX TUYERES.	24	19	5	80	50	19
BASSE-HONGRIE.						
77 Mitterwald.	30	20	10	84	30	42
SAXE.						
Joh. Georgen-Stadt.	21	16 8	4 4	60	26	20

EAU

ZE HAUTS FOURNEAUX DE DIFFERENTS PAYS.

CONSOMMATION		PRODUIT		MINERAIS DE FER.
d'air par minute.	de charbon pour 100 de fer.	du minerai pour 100.	de fonte pour 24 heures.	
pieds cub.	livres.	livres.	livres.	
	184	32	77	Oxide rouge et dur.
	549	25	60	Oxide siliceux réfractaire.
	484	25	65	Oxides argileux et mamelonnés.
	404	26	70	
	361	26	80	
	342	38	72	Oxides bruns mamelonnés.
		44	8	Oxidule, oxide brun et spath.
	195	38	49	Oxide mamelonné rouge.
	168	48	58	Fer spathique.
	321	50	124	Oxidule magnétique.
	356	51	155	
12 à 1500	160	52	415	Mamelonné rouge et brun.
1800	115	62	630	Oxidule et mamelonné.
	126	47	180	Oxidule métalloïde.
120	201	36	179	Oxide mamelonné rouge et oxidule.

On trouve encore dans ce tableau de nouveaux moyens de comparer les produits aux consommations dans des fourneaux de différentes hauteurs.

Pendant long-temps on n'a traité le minerai de fer en Sibérie que dans des fourneaux de vingt à vingt-sept pieds de haut, où l'on consommait de deux cent vingt-deux à trois cent soixante-dix parties de charbon pour cent de fonte. On a cherché, à l'imitation des Anglais, à élever ces fourneaux, d'abord à trente-trois pieds, puis à quarante-un, et enfin à quarante-cinq. La consommation dans les fourneaux de trente-deux à trente-cinq pieds n'a plus été alors que de cent trente à cent soixante parties de charbon pour cent de fonte; celui de quarante-cinq pieds n'a plus consumé que cent quinze. Il semblerait, d'après cet aperçu, que l'élévation des fourneaux de Sibérie a diminué considérablement la consommation du charbon; mais on trouve qu'un fourneau de Kamenskoï, de vingt-six pieds de haut, ne consumait que cent soixante-six parties de charbon pour cent de fonte, tandis qu'un autre fourneau à Petrokamenskoï, de trente-cinq pieds de haut et construit depuis, consume trois cent cinquante-six parties de charbon pour cent de fonte; et dans le même lieu, un fourneau de vingt-trois pieds neuf pouces de haut consume trois cent vingt-une parties de charbon; enfin, à Newjamskoï, le fourneau de quarante-un pieds consume cent quinze de charbon pour cent de fonte, tandis que celui de quarante-cinq pieds en consume cent cinquante-sept.

Il faut donc convenir que l'on ne possède pas encore de données assez certaines pour déterminer d'avance la hauteur la plus favorable à un

haut fourneau. Cette hauteur doit dépendre de la forme de la cuve, de la nature du minerai que l'on fond, de la nature et de la proportion des fondants que l'on emploie, du combustible dont on se sert, de la quantité d'air dont on peut disposer, et du mode de travail que l'on adopte.

Les produits, comparés avec la hauteur du *foyer supérieur* et la forme des *ventres*, offrent encore la même incertitude, les mêmes variations.

DU NOMBRE DES TUYÈRES, ET DE L'INFLUENCE DE CETTE CONDITION SUR LES QUANTITÉS DE COMBUSTIBLE CONSOMMÉ.

A cet égard on a observé d'assez fréquentes anomalies : c'est ainsi qu'on voit le fourneau d'Eisenertz, de trente pieds de haut, avec deux tuyères, consumer cent quatre-vingt-deux parties de charbon pour cent de fonte, tandis qu'un fourneau de Carinthie à une seule tuyère, et de trente pieds de hauteur également, ne consume que quatre-vingt-quinze parties de charbon. Mais ces variations, qui tiennent sans doute à quelque cause étrangère qu'on n'a pas bien appréciée, ne peuvent infirmer le principe généralement établi, qu'une double tuyère procure une immense économie dans le combustible et régularise les opérations. On a même adopté dans beaucoup de forges en Angleterre l'usage de trois tuyères, et le résultat a presque constamment offert le plus grand avantage. Nous aurons occasion de revenir sur cette considération.

DE LA RICHESSE DU MINERAI SOUS LE RAPPORT DE LA DÉPENSE EN COMBUSTIBLE.

On observe généralement que les minerais les plus riches sont les plus difficiles à traiter dans les hauts fourneaux ; et, outre que la fonte qui en provient est ordinairement de moindre qualité, ils exigent une plus grande quantité de charbon pour leur fusion. C'est un point de correction dans le traitement des minerais qui appelle toute l'attention du maître de forges. On verra par la suite quelles sont les diverses tentatives qui ont été faites pour éviter l'inconvénient, et le succès qu'elles ont eu souvent.

INFLUENCE DES FORMES ET DE LA DIMENSION DES HAUTS FOURNEAUX.

Il n'y a aucun doute que ces conditions n'influent essentiellement sur la quantité des produits comparés à la dépense ; mais il est pénible d'avouer que jusqu'ici, en aucun pays, on n'est parvenu à déterminer *à priori* ces formes et ces dimensions, et que le tâtonnement dans chaque localité est encore le guide le plus sûr. Chaque variété de minerai, pour être fondue avec économie, doit être traitée dans des fourneaux qui aient des formes et des dimensions particulières. C'est ce qu'a fort bien observé en Suède le célèbre Rinmann, qui a obtenu les meilleurs effets des changements qu'il a fait pratiquer dans diverses localités. Avant sa nomination à la grande-maîtrise des hauts fourneaux en 1749,

on suivait dans chaque canton des méthodes particulières pour des espèces de minerais semblables, et l'on consumait des proportions de charbon très différentes, en n'obtenant d'ailleurs que des fers très variables dans leurs qualités.

On a vu précédemment que la cuve des hauts fourneaux doit être divisée en deux parties, *cheminée supérieure* et *grand foyer*; que la cheminée supérieure a pour objet de désoxider le métal, de le réduire et de le préparer à la fusion, tandis que la seconde partie (le grand foyer) est destinée à le fondre, et à en séparer, sous forme de laitier ou de verre terreux, les terres qui étaient mélangées ou combinées avec le métal.

La hauteur du grand foyer et la largeur du ventre varient dans chaque fourneau. Dans ceux de vingt à trente pieds d'élévation, cette hauteur est entre cinq et dix pieds; dans quelques fourneaux de Styrie, les grands foyers ont jusqu'à douze pieds d'élévation au-dessus du sol. La largeur du ventre est pour les mêmes fourneaux entre cinquante et quatre-vingt-quatorze pouces. Dans quelques fourneaux de Styrie, les ventres n'ont que quarante pouces de large; mais on a l'habitude, dans ce pays, de donner aux fourneaux des largeurs qui généralement sont moindres que dans les autres pays.

En comparant la hauteur du grand foyer à la hauteur totale des fourneaux, on voit qu'en Suède elle est les cinq vingt-quatrièmes, un peu plus du cinquième de la hauteur, et à Schmalkalden, les cent neuf deux-cent-quarante-huitièmes, un peu plus que la moitié; quelques fourneaux de Carynthie ont cette hauteur à la moitié juste. Quant à la largeur du ventre, dans quel-

ques fourneaux de Suède, elle est plus considérable que la hauteur de la cheminée inférieure; les rapports sont comme quatre est à trois. Dans d'autres, au contraire, comme à Libethen, en Basse-Hongrie, la largeur du ventre est égale à la moitié de la hauteur du grand foyer, ou dans les rapports de quatre à huit.

La largeur du ventre et la hauteur du grand foyer ont pour objet d'amener la plus haute température vers cette partie de la cuve; mais pour que la température y soit très élevée, il faut que l'air qui y arrive contienne encore beaucoup d'oxygène, et que la masse de combustible et la largeur de sa tranche soient très grandes, et toujours proportionnées à la quantité d'air qui les traverse. Or, dans les fourneaux de vingt à trente pieds de hauteur, pour que l'air conserve assez d'oxygène, en arrivant à la cavité du ventre (lorsque la quantité d'air fournie par les machines soufflantes varie entre cinq et neuf cents pieds cubes dans une minute), il faut que le cône tronqué, rempli du combustible que l'air traverse, n'ait pas plus de six à sept pieds de haut, et que la base de ce cône, ou la largeur du ventre, soit à peu près égale à sa hauteur : ce sont ces dimensions qui produisent assez communément les meilleurs effets. Lorsque les fourneaux ont une plus grande élévation, qu'ils ont, par exemple, entre trente et quarante-cinq pieds de haut, et que les machines soufflantes produisent de douze à dix-huit cents pieds cubes d'air par minute, on peut élever le foyer supérieur jusqu'à dix et onze pieds, et donner au ventre la même largeur. Dans les fourneaux anglais, les hauteurs du grand foyer sont environ le tiers de celles des fourneaux : ainsi elles ont quinze pieds

pour les fourneaux de quarante-cinq pieds, et vingt pieds pour ceux de soixante. Dans ces foyers la largeur du ventre est de douze pieds pour ceux de quarante-cinq pieds, et de quatorze pour ceux de soixante; mais il ne faut pas perdre de vue que ce sont des fourneaux à brûler du coke, ou charbon de houille, qui brûle moins facilement que le charbon de bois: ils doivent par conséquent avoir un foyer plus élevé, sans que pour cela soit diminuée la proportion d'oxygène qui arrive aux étalages, et ils doivent aussi avoir une plus grande largeur de ventre pour produire la même température.

Le vide, auquel on donne le nom d'*ouvrage*, a généralement la forme d'une pyramide quadrangulaire, extrêmement allongée, dont la largeur inférieure varie entre douze et vingt-quatre pouces dans les fourneaux de dix-huit à trente pieds, et la largeur supérieure de vingt-quatre à trente-six pouces; leur élévation est entre deux et cinq pieds.

Les étalages qui sont au-dessus de l'ouvrage ont diverses formes et diverses élévations. Leur hauteur varie entre deux et cinq pieds. Leurs surfaces sont droites ou concaves; elles ont diverses inclinaisons.

Ces étalages sont droits dans le plus grand nombre des fourneaux, et en particulier dans ceux de France.

Quant à l'inclinaison des faces des étalages, elle varie depuis l'angle de soixante degrés avec l'horizon jusqu'à celui de vingt degrés. Chaque constructeur donne, pour les mesures qu'il adopte, des raisons différentes. Les uns prétendent que les étalages doivent être très inclinés, afin que le minerai en se fondant glisse avec fa-

cilité, ne séjourne pas trop long-temps sur ses faces, et puisse tomber aisément dans le milieu du creuset. Les partisans de la petite inclinaison prétendent qu'elle doit être telle, que le métal ait acquis de la fluidité pour pouvoir glisser et couler sur les parois, et qu'il faut que le minerai y soit retenu, lorsqu'il n'est encore que ramolli, et qu'il est à l'état pâteux.

La hauteur que produit la grande inclinaison semble nécessaire à un bon travail et à une bonne fusion, quoique ce ne soit peut-être pas par les raisons qu'alléguent ceux qui en sont partisans. Ce qu'il y a de certain, c'est que les fourneaux de Conches, de la Bonne-Ville, de la Ferrière, de Lire, dans le département de la Seine-Inférieure, qui ont quarante-huit pouces de largeur de ventre, n'avaient que trente pouces de hauteur d'étalages en 1780. M. Dobson a exhaussé ces étalages, et leur a donné jusqu'à soixante-six pouces; il a en même temps élevé la cheminée supérieure de quelques pieds. Il en est résulté qu'au lieu de cent soixante milliers de fonte par charge que rendaient ces fourneaux, ce seul changement leur en a fait produire deux cents, et cela avec la même consommation de charbon, de minerai et de castine : c'est par mois un bénéfice de vingt-huit à vingt-neuf milliers de fonte. (*Voy.* Annales d'Oreilly, tom. 5, pag. 225.)

Les ouvrages des fourneaux de Suède, par leur courbure concave, réunissent le double avantage d'avoir un foyer de *haute température* d'une grande longueur, et de varier d'inclinaison, de manière à pouvoir retenir sur les bords de l'ouvrage le minerai qui n'est pas encore fondu.

Lorsque les ouvrages sont hauts et larges, comme dans le fourneau de Schmalkalden, les éta-

lages peuvent n'avoir qu'une très petite hauteur, parce que l'ouvrage qui a une grande capacité fait en quelque sorte fonction d'étalages.

Il est nécessaire que la cheminée supérieure ait une hauteur dépendante de la nature du minerai et des préparations qu'il a reçues. Le minerai, en traversant la cheminée supérieure, doit subir toutes les opérations qui le disposent à la fusion, et qui sont propres à séparer le métal des verres terreux, des laitiers formés par les terres qui y sont mélangées ou combinées : il doit, en arrivant au grand foyer, être prêt à recevoir la haute température nécessaire à la fusion du métal et des verres terreux.

Lorsque le minerai a été bien et suffisamment grillé avant d'avoir été porté au haut fourneau, lorsque les liquides et les gaz qui devaient être vaporisés en ont été extraits, la seule désoxidation du métal dans la cheminée supérieure doit avoir lieu : il faut pour cela que les minerais soient continuellement en contact avec du carbone embrasé, et qu'une portion du charbon puisse pénétrer en nature ou à l'état d'oxide de carbone dans l'intérieur des fragments, pour désoxider le métal ; il faut en outre qu'en éprouvant des températures successivement augmentées, le métal se ramollisse ; que les affinités des terres entre elles et des molécules de fer l'une sur l'autre s'exercent, pour que le métal commence à se séparer des terres ; enfin que, les fragments arrivant aux étalages, tout cède à la haute température qui y règne, et que le fer et les verres terreux puissent se fondre séparément.

Cette destination de la cheminée supérieure commande des dimensions qui lui conviennent.

La hauteur des cheminées supérieures varie.

Dans les fourneaux de dix-huit à trente pieds, elles ont de douze à vingt pieds d'élévation ; on en voit en Styrie qui ont la moitié de la hauteur totale du fourneau ; en Suède, les fourneaux de vingt-quatre pieds ont une cheminée supérieure qui est des dix-neuf vingt-quatrièmes de la hauteur totale : ce rapport est évidemment trop grand.

Quand les minerais n'ont pas subi un grillage préliminaire, et qu'ils contiennent encore de l'eau, de l'acide carbonique, et surtout des sulfures et des arseniures, et que, par conséquent, il est indispensable d'opérer une vaporisation prolongée, les cheminées supérieures doivent avoir une hauteur plus grande, afin que cette vaporisation soit favorisée par un tirage considérable.

La base de la cheminée supérieure est donnée par la largeur du ventre ; mais l'ouverture du gueulard doit être fixée de manière à être la plus favorable possible au travail.

Dans le plus grand nombre des fourneaux connus, l'ouverture des gueulards varie entre vingt et cinquante pouces de large.

L'ouverture du gueulard a deux objets : 1° de faciliter la sortie de l'air qui n'a pas été décomposé, des gaz formés par la combustion, et des substances qui se vaporisent ; 2° par sa moindre étendue, de borner la surface de contact de l'air extérieur. La quantité d'air employée, ainsi que la dimension de la cuve, doivent modifier, chacune en particulier, la grandeur de cette ouverture, dont le diamètre ou les côtés horizontaux homologues sont ordinairement moitié de ceux du ventre : d'où il suit que l'aire de l'ouverture du gueulard doit être, à peu de chose près, du quart de la surface du foyer supérieur.

Lorsque, par l'effet de quelque circonstance de la fabrication, l'on est forcé d'arrêter un fourneau qui travaille bien, et dont les parois ont été construites avec des matériaux susceptibles de vitrification ou d'altération, on remarque d'abord que, quelle qu'ait été la forme primitive du fourneau, soit dans les tranches horizontales du milieu de l'ouvrage, soit dans celles des étalages, s'il y a des altérations, elles tendent à rendre circulaire chaque tranche horizontale.

En observant ensuite les altérations qui ont eu lieu dans le plan vertical, on peut remarquer que les étalages se creusent peu à peu, et qu'ils tendent à prendre une courbure concave qui approche d'un ellipsoïde de révolution.

Ce sont ces deux premières altérations qui ont déterminé les Suédois à donner à leur fourneau la forme particulière qui leur est propre, et à laquelle ils ne sont parvenus que successivement. « On examina, dit Garney, dans un grand nombre « de fourneaux dont l'intérieur était plus ou « moins brûlé, fondu et changé, quelle était la « forme que prenait cet intérieur, et celle qui « avait lieu lorsque le travail allait le mieux. Le « vide des fourneaux paraissait affecter une forme « constante, que l'on a imitée et déterminée en « donnant au ventre du fourneau diverses cour- « bures. La grande difficulté consistait en ce que « le feu le mettait dans un état plus ou moins in- « forme, selon que la forme primitive qu'on lui « avait donnée était plus ou moins adaptée à son « action; et ces effets dépendant de la nature des « minerais, il a fallu faire un grand nombre d'ex- « périences, et recueillir un grand nombre d'ob- « servations. Une indication en suggéra bientôt « une autre, et enfin on est parvenu, après des

« essais auxquels on peut se fier, à déterminer la « nature des courbures que l'on doit donner au « ventre des fourneaux, ainsi que les dimensions « et la forme qui conviennent à la cuve, suivant « la nature des divers minerais. »

Malgré le témoignage important de Garney, et les succès qu'ont obtenus les Suédois, il convient peut-être de n'adopter leur forme de construction qu'avec beaucoup de réserve : car nous ne voyons pas que les Anglais, qui savent si bien s'approprier tout ce qu'il y a d'avantageux à l'étranger, se soient empressés de suivre l'exemple des Suédois. Cette réserve est d'autant plus raisonnable, qu'il est à présumer que la nature des minerais de Suède influe beaucoup sur le mode le plus avantageux de construction des fourneaux de cette contrée. Ce sont en général des oxidules de fer, tandis que chez nous les minerais consistent principalement en oxides terreux, limoneux, en masses ou en fragments, et même à l'état pulvérulent, quelques fers spathiques. Cependant il est un changement d'un avantage assuré, déjà adopté par plusieurs de nos maîtres de forges, et que l'on a lieu de s'étonner de voir encore négligé par la plupart : c'est la forme circulaire des tranches horizontales des cuves, forme plus facile d'ailleurs dans la construction que toutes celles que la routine fait continuer.

Toutes les fois que l'on voudra chercher à connaître quelles sont les meilleures proportions et la meilleure forme qu'il convient de donner à son fourneau, relativement à la nature des minerais et des fondants que l'on y liquéfie, et au mode de fondre que l'on suit, il faudra diviser les expériences de recherches en deux parties. D'abord on s'occupera de déterminer quelles sont les propor-

tions les plus favorables à donner à la cheminée supérieure, puis à celle de la partie inférieure.

La cheminée supérieure peut sans inconvénient être augmentée de quelques pieds à chaque fondage, et cette augmentation doit se faire successivement et pendant plusieurs années de suite, jusqu'à ce que l'on soit arrivé à une hauteur telle qu'un peu plus ou un peu moins d'élévation ne change pas sensiblement les quantités de fonte obtenues par une même masse de combustible. M. Ramus a pratiqué cette méthode avec beaucoup de succès au Creusot, près Moncenis, département de Saône-et-Loire. Il est parvenu à obtenir de cette manière beaucoup d'économie dans le combustible.

Lorsqu'on aura déterminé la hauteur de la cheminée supérieure, on s'occupera de celle des étalages, qu'on remontera d'abord de six pouces, s'ils ne sont pas assez élevés. Dans le cas où cet exhaussement augmenterait le produit, on élèverait encore de la même quantité le fondage suivant, et cela continuellement, jusqu'à ce que, par une nouvelle addition, la quantité de fonte obtenue ne change plus.

Il est inutile de dire qu'en élevant les étalages il faut élever aussi la cheminée supérieure, pour lui conserver la même hauteur relative.

Il est évident que, si, dès la première expérience, on s'apercevait d'une diminution dans le produit, il faudrait suivre une marche inverse de celle de l'élévation.

Ces deux modes d'expériences sont faciles à suivre, en ce qu'ils n'exigent aucun travail considérable. Les changements étant dirigés avec intelligence, et n'étant que très petits successivement, il ne peut en résulter de graves inconvénients.

Les expériences sur les ouvertures du gueulard sont assez faciles à faire lorsqu'il ne s'agit que d'en diminuer l'orifice ; mais pour l'augmenter cela est plus coûteux.

Quant aux expériences sur les largeurs les plus favorables que l'on puisse donner au ventre, ce sont et les plus difficiles, et les plus assujettissantes; elles exigent à chaque fois la reconstruction des parois de toute la cheminée supérieure : elles doivent donc être faites avec d'autant plus de circonspection que le changement introduit dans la largeur doit durer toute la campagne, et que, lorsque les matériaux sont de bonne qualité, les parois peuvent servir à plusieurs fondages.

Il existe dans le vide du fourneau un espace qu'il est de toute nécessité de bien soigner, car de ses proportions dépend souvent la bonne qualité de la fonte que l'on obtient : c'est le creuset.

Le *creuset* est un vide pratiqué au bas du fourneau, dont les faces sont verticales ou très peu inclinées : c'est dans ce vide que tombe le métal fondu, ainsi que les verres terreux qui l'y accompagnent. Ces deux sortes de substances se séparent dans ce creuset ; le métal fondu, dans des états d'oxidation très variés, s'y réunit; les diverses parties se mélangent, se combinent ; il s'y fait une espèce d'équation : la fonte trop carbonée cède de son carbone à la fonte trop oxidée.

La forme et les dimensions du creuset ayant une grande influence sur ces combinaisons et sur les épurations qui peuvent en résulter, elles méritent une attention sérieuse pour parvenir à les bien déterminer.

Les fourneaux retiennent la fonte dans le creuset pendant des temps très variables, selon la grandeur de leur cheminée intérieure et la quan-

tité de fonte que l'on coule à la fois : d'où résultent des différences dans le degré d'épuration qu'elle éprouve. Dans quelques fourneaux on n'obtient à la fois que des saumons de trois ou quatre quintaux, et l'on coule toutes les deux, trois ou quatre heures. Dans d'autres, les poids des gueuses sont de quinze jusqu'à vingt-cinq quintaux, et l'on ne coule que toutes les dix, douze ou quinze heures.

Il y a telle pièce à couler qui exige une masse de fonte de neuf mille livres : c'est là le métal nécessaire pour une pièce de canon de trente-six, par exemple. Ajoutez à cela qu'il convient d'avoir toujours à sa disposition, dans ce coulage, un excédant de matière, en cas d'accident. Cet excédant s'emploie en petites pièces de toute espèce.

Les creusets peuvent être divisés en trois espèces : les premiers sont un prolongement de la pyramide inférieure de la cuve du fourneau ; les seconds sont des prismes sur lesquels pose l'ouvrage ou les étalages ; les troisièmes sont des vides qui se prolongent sous le massif du fourneau jusqu'aux parois de l'embrasure dans laquelle on pratique la coulée, c'est-à-dire jusqu'à la tympe.

Dans la plupart des fourneaux de Styrie et de Carinthie on laisse accumuler la fonte et les scories ensemble dans le creuset, et ces deux substances coulent à la fois. Dans les anciens creusets allemands on ne laissait la fonte recouverte que d'une petite couche de scories, et on faisait couler, par des ouvertures pratiquées à des hauteurs successives, les scories qui se séparaient de la fonte. Tous les autres fourneaux, ou du moins le plus grand nombre, ont une ouverture dans la partie supérieure du creuset, par laquelle les scories s'écoulent continuellement pendant la durée du travail, et l'on ne fait sortir la fonte

que lorsque le creuset en est rempli et qu'elle n'est plus recouverte que d'une légère couche de laitier. Ces creusets ont ordinairement la forme d'un prisme rectangulaire allongé dans la direction du *travail*. Le devant du creuset est fermé par une forte pierre, ou une masse de fonte, que l'on nomme *dame* (de l'allemand *damm*, digue, chaussée élevée); elle est un peu moins élevée que l'ouverture, de manière qu'il reste assez d'espace entre le dessus de la *dame* et le dessous de la *tympe* pour l'écoulement continuel des scories.

La partie supérieure de la dame doit être un peu moins élevée que l'ouverture de la tuyère, afin que les scories puissent s'écouler avant d'arriver à cette hauteur, et qu'elles ne puissent jamais la boucher. La longueur de la dame est un peu moindre que celle du creuset; il reste entre la face du contrevent et la dame un espace dans lequel on peut percer l'ouverture par laquelle la fonte doit couler.

Les dimensions ordinaires de ces creusets sont de vingt-trois à cinquante-trois pouces de long, quatorze à vingt-quatre de large, et douze à vingt-cinq pouces de haut, et leur capacité entre trois mille et trente-deux mille pouces cubes. Mais la variation entre ces limites est très fréquente. La largeur du creuset est assez ordinairement égale à la moitié de sa longueur, et la hauteur à la moitié de sa largeur; ainsi les proportions sont à peu près : : 4 : 2 : 1.

Les creusets ouverts par le devant, et fermés seulement par la dame, ont trois autres côtés : celui du fond, que l'on nomme *rustine*, et les deux autres *costières*. L'une d'elles, dans laquelle est pratiquée l'ouverture par où le vent arrive, se nomme *costière de la tuyère*, et l'autre *costière du contrevent*.

Chaque fondeur a une manière particulière de construire son creuset. Les plus intelligents ont une forme de bois qu'ils posent sur le fond, et à l'aide de laquelle ils élèvent et placent la rustine et les costières. Il y a malheureusement trop d'arbitraire, ou plutôt de routine, dans la prétendue méthode de la plupart. Cette partie de la construction des fourneaux a été en Suède l'objet d'une attention soutenue. Nous croyons ne pouvoir mieux faire que de rapporter ici les procédés tels que les a décrits Garney dans son *Traité sur la fonte des minerais*, liv. 2, chap. 8, § 1er.

Gérard observe d'une manière très plausible que l'angle que fait la rustine avec une droite placée dans le sens de la longueur du fourneau, et qui passe par son axe, dirige le vent vers la partie extérieure du creuset; mais que, si l'angle est trop grand, la chaleur devient trop considérable en avant et pas assez en arrière; elle est augmentée dans cette dernière partie lorsque l'on place la rustine de manière qu'elle fasse un angle égal sur les deux costières. Cette direction est usitée pour les minerais qui donnent un fer brisant à chaud : on recule alors la rustine de quelques pouces, et l'on avance la tympe jusqu'à n'être plus qu'à 0 m.45 de l'axe.

La costière de la tuyère, lorsque l'on fond des minerais moyennement fusibles, est placée à une distance de la ligne du milieu égale à celle de la costière du contrevent; mais elle est plus éloignée pour les minerais plus fusibles, et elle en est plus rapprochée pour ceux qui sont plus réfractaires, ce qui augmente ou diminue la capacité du creuset.

La face de la rustine est verticale ou inclinée, selon la nature des minerais : elle est verticale

pour les mines réfractaires, et inclinée au dehors pour les mines douces.

Quant aux costières, voici ce que l'expérience apprit à Garney. On sait que, lorsque le creuset a les mêmes dimensions dans le bas que dans le haut, ou même lorsqu'il est plus étroit dans le haut, la fonte est plus pure, plus douce; mais que l'on en obtient moins, dans le même temps, que lorsqu'il est évasé : on doit donc partir de ce fait pour déterminer le degré de cet évasement.

Lorsque l'on traite un minerai réfractaire donnant du fer rouverin, brisant à chaud, comme la fonte doit rester long-temps dans le fourneau pour y être purifiée, il faut, pour diminuer le creuset, disposer la costière de la tuyère de manière que son arête supérieure soit plus avancée d'un demi-pouce vers l'axe que l'arête inférieure, et que l'arête de la costière du contrevent soit plus éloignée d'un pouce de celle verticale : par ce moyen le creuset n'aura qu'un demi-pouce de plus large dans le haut que dans le bas.

Mais si l'on doit traiter des minerais moins réfractaires, il faut disposer les costières de manière que la face de celle de la tuyère soit verticale, et que celle du contrevent présente un talus de un à trois pouces.

Enfin, si les minerais sont très fusibles, les deux faces des costières seront inclinées en dehors; celle de la tuyère aura une inclinaison de deux pouces, et celle du contrevent de trois pouces.

Si l'on excédait ces quantités, on consumerait une trop grande masse de charbon, proportion gardée avec la fonte que l'on obtiendrait, et celle-ci deviendrait blanche.

Voici sur cette partie un tableau extrait de l'ouvrage de Garney.

TABLEAU

DES DIMENSIONS DE DIFFÉRENTS CREUSETS DES HAUTS FOURNEAUX.

NATURE DES MINERAIS.	DISTANCE DE L'AXE DU CREUSET à la rustine.	DISTANCE DE L'AXE DU CREUSET à la tuyère.	DISTANCE DE L'AXE DU CREUSET à la tympe.	DISTANCE DE L'AXE DU CREUSET à la dame.	LARGEUR DU CREUSET à la rustine.	LARGEUR DU CREUSET à la tympe.	HAUTEUR de la tuyère.	INCLINAISON de la tuyère.
	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	degrés.
Minerai oxidulé, fusible seul.	0.391	0.252	0.743	0.995	0.520	0.470	0.371	1
Idem, réfractaire seul.	0.297	0.223	0.619	0.847	0.470	0.446	0.396	1
Idem, cassant à chaud seul.	0.297	0.223	0.520	0.822	0.495	0.462	0.347	1 1/2
Minerai limoneux des lacs.	0.347	0.240	0.545	0.995	0.462	0.432	0.347	1
Idem, réfractaire, un tiers cassant.	0.347	0.223	0.619	0.921	0.495	0.462	0.347	1 3/4
Minerai fusible seul.	0 257	0.248	0.446	0.970	0.446	0.421	0.396	1 1/2
Minerai assez réfractaire, fer un peu cassant.	0.297	0.240	0.594	0.822	0.495	0.462	0.396	1 1/2
Minerai de Taberg, réfractaire.	0.247	0.198	0.470	0.876	0.446	0.432	0.347	1
Fourneaux à fondre des canons de. . . 8	0.347	0.272	0.600	0.871	0.545	0.507	0.446	2
Idem, de 12	0.371	0.272	0.644	0.921	0.545	0.507	0.495	2 1/4
Idem, de 18	0.316	0.297	0.693	1.094	0.594	0.556	0.531	2 6/10
Idem, de 24	0.446	0.322	0.693	1.341	0.644	0.556	0.582	3 3/4
Minerai pauvre, réfractaire, cassant seul.	0.223	0.223	0.446	0.896	0.446	0.396	0.371	2
Minerai avec un tiers oxidule fusible, ou minerai fusible, fer cassant à chaud, un tiers castine.	0.322	0.223	0.619	7.92	0.472	0.421	0.371	1 1/4

La conclusion la plus naturelle et la plus juste que l'on puisse tirer de tout ce qui a précédé sur les formes et les dimensions des différentes parties des fourneaux, c'est que, quoique leur grandeur et leurs proportions doivent avoir de l'influence sur la nature de leurs produits et sur la dépense qu'ils occasionent, il y a cependant des petites différences dans les dimensions, qui ne doivent pas être considérées comme pouvant occasioner de grandes variations.

Mais, encore bien que le mode de travail soit une des causes qui influent le plus sur la nature de la fonte et sur l'économie dans la dépense, on ne doit jamais négliger de faire des expériences sur la forme et les proportions des fourneaux les plus avantageuses, relativement aux minerais que l'on traite et aux combustibles que l'on emploie. C'est avec de la persévérance que les Anglais sont parvenus à trouver qu'il faut de grands fourneaux pour fondre les minerais de fer avec du charbon de houille, qui est moins facile à brûler que le charbon de bois, et que les Suédois sont arrivés à cette forme particulière de fourneau qui paraît être assez bien proportionnée aux minerais qu'ils possèdent.

DU MODE DE CONSTUCTION DES HAUTS FOURNEAUX.

Il convient d'abord de faire choix d'un emplacement. Quand à toutes les autres conditions requises il se joint la proximité d'un courant ou d'une chute d'eau, d'un lac, d'un étang ou d'un réservoir assez considérable pour faire mouvoir es machines soufflantes, on est dans une position heureuse.

A défaut d'eau, si le combustible est abondant, on a recours aux machines à vapeur, comme dans le plus grand nombre des usines en Angleterre, au Creusot en France, et dans plusieurs autres lieux.

Il est avantageux que le terrain sur lequel le fourneau doit être construit ait un fond solide, et qu'il soit situé à quelque distance des autres édifices. Il est essentiel aussi que sa masse ne touche, par ses faces latérales, à aucune partie de terre ou de roches, à travers lesquelles il pourrait suinter de l'humidité, qui, en pénétrant la maçonnerie, occasionerait des dérangements dans le travail. D'abord l'humidité diminue la chaleur produite par la combustion; elle peut aussi faire coaguler, solidifier une partie des matières fondues, ce qui occasione des engorgements, et oblige à *mettre hors,* c'est-à-dire à arrêter le travail, pour extraire les matières solides qui se sont déposées, et pour réparer le fourneau. Mais un inconvénient encore plus grand de l'humidité, et dont on n'a souvent que trop d'exemples, c'est que l'eau infiltrée à travers le massif peut y éprouver subitement une haute température qui la réduit en vapeurs; ces vapeurs, comprimées dans les espaces qui les contiennent, exercent un effort considérable contre leurs parois, et produisent des crevasses plus ou moins grandes. Ces efforts réitérés et multipliés contribuent à la prompte destruction des fourneaux.

Lorsque l'emplacement du fourneau a été choisi dans un terrain libre, droit, horizontal, solide et sec, à la proximité des forces motrices qu'on a dessein d'employer, des combustibles, des minerais, des fondants, enfin dans un endroit d'où le transport de la fonte au lieu de la vente puisse se faire facilement, on creuse les fonda-

tions du massif de la tour que l'on se propose d'élever.

Nous passerons sous silence toutes les précautions qu'il convient de prendre pour donner aux hauts fourneaux une base solide, parce que tout cela se rattache très exactement à celles qu'exige toute espèce de construction. Nous nous contenterons d'observer que la base de la fondation ne peut être faite avec trop de soin. La charge qu'elle doit porter est considérable: on ne l'évalue pas à moins de deux millions de livres pour les fourneaux de vingt-quatre pieds de haut, et de huit à neuf millions pour les fourneaux de soixante pieds. Ce poids se trouve malheureusement inégalement réparti sur la base. Dans les fourneaux à une seule tuyère, le fardeau supporté par l'angle de l'embrasure au-dessous du pilier de cœur est, pour les fourneaux de vingt-quatre pieds de haut, d'un huitième de moins environ que celui qui est supporté par les autres angles.

Les pierres de fondation doivent être grosses et fortes; elles doivent avoir leurs faces dressées, et chaque assise doit être formée de pierres d'égale hauteur. Il est nécessaire aussi que ces pierres soient posées avec assez de solidité pour pouvoir résister sans mortier à la charge qu'elles supportent. Il faut beaucoup de choix dans les matériaux dont on fait usage pour les fondations: il est toujours à craindre qu'ils ne s'écrasent et ne soient broyés.

Quand les pierres sont très solides par elles-mêmes, on se dispense de les lier par du mortier, et cela a cet avantage que les eaux du sol qui s'infiltrent s'écoulent plus facilement.

On pratique ordinairement sous tous les fourneaux, dans le massif des fondations, des canaux

pour réunir les eaux et leur donner un écoulement, afin de les empêcher de monter jusqu'au sol, jusqu'aux parois, et de nuire au travail.

Il faut, autant que possible, que l'ouverture du canal soit sur une des faces adjacentes à celle que baigne le courant qui fait mouvoir les machines soufflantes, afin que l'eau qui coule le long de cette face ne reflue pas dans le canal.

Dans plusieurs fourneaux les canaux se croisent à angles droits; souvent ces canaux ont leurs quatre ouvertures libres sur les quatre faces; quelquefois ces deux canaux croisés n'ont que deux ouvertures, l'une sous le contrevent, l'autre sous la rustine. La voûte ne s'élève ordinairement qu'à deux ou trois pieds sous le fond de la cuve du fourneau, parce qu'il faut conserver assez d'épaisseur au-dessus du canal pour placer la pierre de sol et la maçonnerie de cette voûte.

Lorsque les fondations sont peu profondes, la voûte du canal commence à leur naissance, à la surface du fond; lorsqu'elles sont profondes, elle est posée sur quelques assises de pierre. La hauteur du canal varie de un à six pieds.

Comme le but que l'on se propose en construisant un canal est de réunir toutes les filtrations, les vapeurs et l'humidité, afin de faciliter leur sortie, on y établit souvent un courant d'eau, soit en réunissant toutes celles qui pénètrent dans le massif, lorsque le fourneau est bâti sur un emplacement humide ou marécageux, soit en faisant arriver directement de l'extérieur de l'eau dans le canal. Cela est avantageux en ce que, la température de ce fluide étant toujours moindre que celle de la maçonnerie à travers laquelle la chaleur développée dans l'intérieur se propage, la vapeur et l'humidité se portent sur la surface de

l'eau courante, s'y condensent et sont entraînées avec elle.

Les fondations s'élèvent ainsi, en bonne maçonnerie, jusqu'à la hauteur du sol. Dans les fourneaux suédois, on conserve, dans le milieu du massif, un vide cylindrique de vingt-quatre à trente pouces de diamètre, pour sécher le dessous de la pierre de sol. Ce vide se remplit de pierres dures sur lesquelles on établit de petits canaux à l'aide desquels la vapeur et l'humidité doivent s'exhaler.

Aussitôt que les fondations sont bâties, que la surface supérieure est dressée, on fixe le point milieu du plan horizontal, ou le point sur lequel doit s'élever verticalement l'axe du fourneau, et l'on trace les embrasures.

L'ouverture des embrasures doit être entre huit et quinze pieds, et cela selon la largeur de la masse. Nous avons déjà dit que, dans les fourneaux de vingt à vingt-quatre pieds de large, l'ouverture de l'embrasure est égale à la moitié de la face.

Dans tous les fourneaux bien construits, l'axe ou la droite menée du centre du gueulard au centre du creuset est verticale. Dans quelques fourneaux dont la construction est abandonnée à des fondeurs qui suivent une mauvaise routine, l'axe du fourneau est incliné du côté du contrevent. Cette méthode est vicieuse; elle occasione une plus grande consommation de combustible, et l'on remarque dans ce cas qu'après la *mise hors*, après le refroidissement du fourneau, les étalages et l'ouverture, du côté du contrevent, sont rongés et fondus par l'action des minerais, qui tombent en plus grande quantité sur cette face que sur l'autre.

La maçonnerie qui compose le massif du fourneau peut se diviser en deux grandes sections : *enveloppes* et *parois*.

On appelle *parois* la maçonnerie de la surface intérieure, celle qui forme la cuve; et *enveloppe*, la masse de maçonnerie qui forme les murs extérieurs. Il est très rare que des parois soient immédiatement appuyées contre ou liées à la maçonnerie de l'enveloppe; elles en sont presque toujours séparées par un petit espace que l'on remplit de terre, de sable, d'argile ou d'autres substances. Ce mode de construction, qui isole les deux parties, permet de séparer plus facilement les parois quand elles ont été dégradées, soit par accident ou par de trop longs fondages.

On doit donc, d'après ce principe, considérer la construction de l'enveloppe comme indépendante de celles des parois. Cela posé, après avoir tracé le vide intérieur, après avoir déterminé l'épaisseur des parois du ventre, on prend la distance de l'axe à l'extrémité de cette épaisseur, et l'on trace sur la base du fourneau un carré ou un cercle (selon que la cuve est circulaire ou rectangulaire). Ce tracé est celui de l'enveloppe que l'on nomme *double muraillement*. Ce double muraillement est construit en pierres de fortes dimensions, taillées sur leurs faces et sur leurs joints, pour leur donner plus de force et de solidité. L'espace entre ce double muraillement est rempli avec des pierres brutes de toutes formes, ou blocage dit libage; on les place avec soin cependant. Elles doivent être bien réunies et bien liées les unes aux autres par les angles et par les faces, afin de procurer à la masse la plus grande solidité.

Dans quelques fourneaux, toutes les pierres de

l'enveloppe sont liées avec un ciment ou avec du mortier ; dans d'autres, le double muraillement et les pierres intérieures sont posées les unes sur les autres et à sec. Cette seconde manière, qui exige un travail plus exact, des pierres mieux taillées, est cependant préférable à la première. En se servant de mortier ou de ciment, on introduit de l'eau entre les joints des pierres, et par conséquent dans le massif ; lorsque l'enveloppe s'échauffe, et que l'eau se vaporise, elle fait effort, et souvent le ressort de la vapeur écarte, détruit la maçonnerie, et occasione des crevasses plus ou moins considérables.

Les voussoirs formés dans le massif, et qui réunissent l'enveloppe aux parois, rompent la continuité de la prolongation du double mur inférieur. Cette partie exige de grands soins, afin de lier la construction de l'enveloppe avec les voussoirs, de manière à former un tout solide, capable de résister à toutes les actions et à tous les efforts réunis.

Les voussoirs sont ordinairement formés de gueuses ou de barres de fer placées sur les murs élevés dans les embrasures. Sur les gueuses ou barres, l'on pose des pierres plates qui forment la surface du plancher ou de la partie supérieure de l'embrasure, et qui supportent le massif de la maçonnerie élevé au-dessus. Cette partie antérieure et renforcée des fourneaux, du côté des tympes et de la tuyère, se nomme *marâtre*, ou poitrine du fourneau.

Pour diminuer le poids que supportent les embrasures, on peut construire au-dessus, sur les deux muraillements, une espèce de voûte de décharge qui diminue le fardeau supporté par les *marâtres*.

L'enveloppe du fourneau est liée avec des barres de fer pour lui donner plus de solidité. Les assemblages des barres sont placés sur des plans espacés dans le massif, et retenus à l'extérieur par des barres ou des ancres en fer.

Le nombre des couches de liens de fer est plus ou moins considérable, selon la grandeur du fourneau, la bonté des matériaux et l'exactitude du travail de construction : ce nombre varie communément de trois à huit. On fait varier l'arrangement des barres dans chaque assise, relativement à leur position. A la base du fourneau, la rangée est double; trois barres sont placées au milieu, et quatre ou sept dans le pilier de cœur. Au-dessus est une rangée simple, et deux barres transversales au milieu des faces. Les deux barres qui passent par les embrasures sont courbes lorsque l'assise est trop basse. Enfin, au-dessus des embrasures, l'assise est formée d'une seule rangée de barres, ou de deux rangées posées l'une dans le sens des faces, l'autre dans la direction de la diagonale.

Les barres qui ne traversent pas le fourneau sont retenues dans la face intérieure du muraillement par des ancres droites ou courbes. Toutes ces dispositions sont très visibles sur les planches qui accompagnent cet ouvrage, et minutieusement expliquées dans la description desdites planches.

Quelques fourneaux de Suède sont revêtus de grosses et fortes pierres jusqu'à la hauteur des voussoirs ; au-dessus, le fourneau est environné de cadres de bois qui en entretiennent la solidité. Dans ces fourneaux on ne mène jusqu'à la plateforme que le mur de l'enveloppe intérieure. Pour remplacer la prolongation du mur extérieur au-dessus des voussoirs, on place des cadres de bois

les uns sur les autres; ces cadres, formés de quatre grandes pièces, sont séparés par des pierres plates qui remplissent les vides que les pièces de bois laissent entre elles; on comble ensuite l'espace compris entre les pièces et le mur de l'enveloppe intérieure avec de la terre maigre ou du gros sable que l'on bat fortement à la manière du *pisé*.

La petite *masse supérieure*, connue sous le nom de *bure*, de *courtine*, qui est exposée à l'action variable du froid et de la chaleur, et qui se trouve continuellement en contact avec la flamme et le fort courant d'air qui sort par cette ouverture, se détruit facilement. Dans la plupart des fonderies on couvre le gueulard d'une plaque de fonte dont le vide (circulaire ou carré) est celui qui a été déterminé pour l'ouverture supérieure. Cette plaque préserve les bords des parois des accidents que les charges successives occasionent. Dans quelques fourneaux on place à l'extérieur des parois de la petite masse supérieure des barres de fer verticales qui sont retenues par des cercles ou des cadres de fer, et dont l'assemblage préserve la *bure* des dégradations auxquelles elle est sujette.

Dans le bas du vide du fourneau, à un pied au-dessus du sol, on pose une plaque de fonte; sur cette plaque on met une couche de sable, de mortier ou de terre, et sur cette couche de terre la pierre de sol. En Suède la plaque de fonte a $0^m.05$ d'épaisseur, la couche de terre $0^m.05$, et la pierre de sol $0^m.20$.

Dans un grand nombre de fonderies on se contente de poser une pierre de sol fort épaisse, sans plaque de fonte inférieure. Mais cette plaque de fonte est véritablement utile : c'est un nouvel obstacle à la pénétration de l'humidité; elle favo-

rise le dessèchement du creuset, chose très essentielle.

Le plus souvent la pierre de sol se place horizontalement; il vaut cependant mieux l'incliner vers la *rustine*. Cette inclinaison laisse toujours, après chaque coulée, un peu de fonte dans le creuset; et celle-ci favorise l'achèvement de la fusion du minerai à moitié fondu qui peut y tomber immédiatement après la coulée. Il est bon, il est même nécessaire que la pierre de sol soit d'une pièce dans toute l'étendue du creuset, afin que la fonte, lorsqu'elle est liquide, ne s'infiltre pas par les joints, et ne nuise pas au travail.

Sur la pierre de sol on bâtit le creuset. D'abord on place la pierre de rustine, puis celles des deux costières. Ces trois pierres doivent être grandes et fortes; il faut qu'elles aient la longueur et la hauteur des faces du creuset auxquelles elles correspondent, car le creuset doit être formé de ces trois seules pierres posées sur celle de sol; il faut encore qu'elles aient une grande épaisseur, autant pour assurer leur stabilité que pour avoir la certitude qu'elles résisteront long-temps à l'action destructive de la chaleur, du courant d'air, de la fonte et des scories. C'est sur ces trois pierres que l'on élève l'*ouvrage*, ou la petite masse inférieure.

Cette petite masse, qui a quatre faces, et qui a intérieurement la forme d'une pyramide tronquée, doit être construite aussi avec de grandes et fortes pierres taillées avec soin et avec précision. On coule un peu de mortier argileux dans les joints pour remplir les interstices des pierres qui forment l'ouvrage et le creuset. Ce mortier, se vitrifiant à la surface, maintient solidement l'ouvrage, et s'oppose à la filtration de la fonte entre les joints.

Les *étalages* formés au-dessus de l'*ouvrage* sont construits dans quelques lieux avec des pierres bien taillées; dans d'autres, avec des sables très réfractaires dont on remplit l'espace vide compris entre l'ouvrage et le ventre, que l'on bat ensuite fortement, et auxquels on donne la forme et l'inclinaison que les étalages doivent avoir dans le système de construction que l'on a adopté.

Le massif de l'ouvrage, sur le devant du creuset, est soutenu par une forte pierre, ou par un ou deux gros morceaux de fonte, ou par des barres de fer. Cette plate-bande de pierre, de fonte ou de fer, qui supporte le côté du devant de la petite masse, se nomme la *tympe*.

Lorsque la tympe est en pierre, on lui donne de vingt à trente décimètres d'épaisseur; lorsqu'elle est en fonte, de cinq à vingt centimètres; et lorsqu'elle est en fer forgé, de cinquante à soixante-quinze millimètres.

Quelquefois la tympe est posée sur les deux costières, lorsque celles-ci sont assez hautes; souvent aussi on la pose sur deux morceaux de pierre ou de fer, dont la face est un peu inclinée au-dessus des costières, pour donner plus d'évasement à l'ouverture.

Quelle que soit la manière dont la *tuyère* est posée, il faut que l'on puisse toujours la replacer facilement lorsqu'elle se casse pendant le travail; il faut qu'elle soit posée de façon qu'elle puisse être ôtée et remise commodément. On appelle *tuyère* l'ouverture dans laquelle on pose la *buse* des machines soufflantes, et par laquelle l'air est lancé dans le fourneau.

Dans quelques fourneaux, le *creuset*, l'*ouvrage* et les *étalages* sont en sable réfractaire : on a pour cette construction un moule, une espèce de pa-

tron qui réunit les formes intérieures des deux premières parties ; on le pose avec soin et précaution sur le sol, et on bat, à la manière du *pisé*, le sable ou la terre réfractaire que l'on place entre ce moule et les murs qui soutiennent les parois, puis on forme les étalages. Cette manière de construire le foyer inférieur est simple, facile, commode et exacte ; elle peut être employée avec beaucoup d'avantage lorsque l'on a à sa disposition des terres ou des sables réfractaires. Tolle et Gartners la recommandent expressément dans leur *Eisen-Hutten magasin*, § 78. Ils disent que « quelques « *ferronniers*, observant que les *ouvrages* des hauts « fourneaux se détériorent très promptement, et « que l'altération qu'ils éprouvent diminue les « produits que l'on doit en obtenir, tandis que « l'on pourrait prolonger plus long-temps les fon- « dages si l'on parvenait à empêcher cette altéra- « tion ; quelques ferronniers, disent-ils, ont pro- « posé de construire les *ouvrages* en fer ; mais ils « observent ensuite que, quel que soit la nature du « fer employé, les ouvrages s'altèrent également « à la haute température à laquelle ils sont ex- « posés. En effet, le fer cru ou fonte, qui entre « en fusion à une température de cent trente de- « grés du pyromètre de Wedgwood, se liquéfie « très facilement dans les fourneaux d'affinerie, « dont la température est beaucoup moins élevée « que celle qui a lieu dans les *ouvrages* des hauts « fourneaux ; et comme le fer forgé peut être « fondu à cent cinquante-six degrés du même py- « romètre, tout porte à croire qu'il se fondrait « également dans l'endroit où l'on se propose de « le placer. D'ailleurs, comme les parois des *ou-* « *vrages* sont constamment exposés à l'action de « l'air des machines soufflantes, le fer s'y oxide-

« rait promptement, et il acquerrait par cette oxi-
« dation plus de fusibilité. »

Quoique dans un très grand nombre de hauts fourneaux on forme dans la partie inférieure, avec la prolongation des parois, un vide dans lequel on construit séparément le *creuset*, l'*ouvrage* et les *étalages*, ce principe n'est cependant pas universellement adopté. Dans quelques fourneaux l'on construit et l'on élève de suite ces trois parties inférieures, avec la cheminée supérieure, de manière qu'elle en soit le prolongement. Ce mode de construction a aussi ses avantages : il peut être mis en usage lorsque les parois sont construites en pierres calcaires qui ne peuvent durer qu'un fondage, et qui obligent à reconstruire chaque fois que l'on éteint ou que l'on *met hors ;* il a cependant le grand défaut de ne pas séparer assez les quatre parties du fourneau, et, lorsqu'il faut raccommoder une des parties, et remédier à une dégradation partielle, de nécessiter la démolition d'une portion considérable de parois saines et intactes. Comme chaque partie éprouve des dégradations différentes ; que la cheminée supérieure, lorsqu'elle est bien construite, peut soutenir plusieurs fondages sans réparations, tandis que les étalages doivent presque toujours être refaits après chaque campagne, et que l'*ouvrage* au contraire supporte quelquefois un fondage sans avoir besoin de réparations, il est utile que la construction de chacune de ces parties soit distincte et séparée.

Lorsque les fourneaux sont circulaires, on peut, à l'aide d'un calibre fixé sur un arbre vertical, construire le mur au-dessus du ventre, dans le vide duquel seront placés le *creuset*, l'*ouvrage* et les *étalages ;* puis construire au-dessus les pa-

rois de la cheminée supérieure. Si l'on voulait construire l'intérieur entier d'une seule opération, c'est-à-dire le creuset, l'ouvrage, les étalages et la cheminée supérieure, on fixerait le pied du calibre à l'ouverture de la pyramide tronquée qui forme l'*ouvrage*, et l'on continuerait, à l'aide du calibre, la construction des *étalages* et des parois.

Dans le cas où la forme de la cuve serait celle de deux pyramides rectangulaires tronquées, opposées base à base, il faudrait tendre des cordeaux des angles de l'*ouvrage* à ceux de la partie supérieure des *étalages*, et de ceux-ci d'autres cordeaux aux angles de la partie inférieure de la petite masse du *gueulard*; et l'on pourrait, en suivant exactement les plans indiqués par les cordeaux, obtenir la forme de la cuve que l'on aurait déterminée. On pourait encore élever sur les *étalages* quatre plans formés de planches assemblées, et dont la réunion représenterait exactement le vide de la cheminée supérieure, puis bâtir les parois sur cette forme exacte.

Or, en comparant les moyens qu'il faut employer pour obtenir ces deux vides différents, l'un circulaire, l'autre rectangulaire, il n'est aucun ouvrier intelligent qui ne préfère la construction à l'aide du calibre, et qui ne soit sûr d'obtenir une forme plus exacte et plus rigoureuse par les calibres que par les cordeaux. La construction à l'aide des calibres qui ont un mouvement de rotation sur un axe est aussi exacte que celle où l'on se sert de planches pour former le moule du vide. On doit donc conclure de là que la plus grande difficulté de construire des cuves circulaires, au lieu de cuves carrées, que cette plus grande difficulté, prétextée par quelques constructeurs, pour faire

préférer le vide rectangulaire, comparativement très défavorable, n'existe dans leur esprit que faute d'avoir connu les moyens à l'aide desquels on construit journellement les fourneaux à cuves circulaires.

On doit avouer cependant que, lorsqu'on emploie des pierres pour la construction des parois des fourneaux, comme ces pierres doivent être taillées pour être posées exactement, et empêcher qu'il n'y ait aucun vide entre elles, la taille de ces pierres, pour la cuve circulaire, présente un peu plus de travail que celle qu'exige la cuve carrée; mais il n'est pas à présumer que cette petite différence puisse être mise en balance avec tous les avantages qu'offre la forme circulaire de la cuve.

Dans quelques fourneaux où le double muraillement est bâti avec du mortier, et où l'enveloppe se fend, se crevasse par l'action et l'élasticité de la vapeur humide, on a essayé de remédier au vide des joints en établissant dans le massif des canaux; mais ces canaux, qui ne permettent que l'évacuation de la vapeur qui les entoure, n'empêchent pas que l'humidité contenue entre chaque massif environné de canaux ne fasse en s'échauffant des efforts sur la maçonnerie, et n'occasione également des fentes : aussi a-t-on, en Suède, abandonné ce genre de précaution, regardé comme insuffisant.

Les pierres employées au massif du fourneau, au double muraillement de l'enveloppe, doivent être grandes, fortes et résistantes; elles doivent supporter aussi facilement, et sans se dégrader, l'intempérie des saisons et les variations de l'atmosphère. Toutes les pierres qui jouissent de ces qualités peuvent servir avantageusement dans

cette construction; mais celles de l'intérieur exigent une qualité de plus : il faut qu'elles soient réfractaires; il est nécessaire qu'elles puissent supporter les plus hautes chaleurs sans se fondre et sans se gercer. Parmi les pierres qui existent et que l'on exploite à la surface du sol, on distingue principalement le granit, le porphyre, le gneiss, la pierre ollaire, la serpentine, la cornéenne, le schiste micacé, le grés et la pierre calcaire. Les huit premières ont chacune des qualités très variables, dues à la nature de leurs composants. Il est des granits, des porphyres, qui se décomposent à l'air et qui acquièrent une telle fragilité, qu'ils s'affaissent sous les plus faibles compressions. Il est de ces pierres, parmi celles que nous avons citées, qui se fondent assez facilement, tandis que d'autres, d'une même nature, et qui semblent même appartenir à la même variété, résistent au feu le plus fort et le plus violent; il en est qui se fendent, se gercent en s'échauffant; d'autres qui conservent leur texture en passant de la température la plus élevée à la température la plus basse. Il y a donc beaucoup de choix dans la qualité, dans les propriétés de ces pierres. On ne connaît encore aujourd'hui aucun moyen certain pour les juger à la seule inspection, et déterminer *a priori* quel sera leur effet : il faut en appeler à l'expérience.

Les pierres que l'on peut employer doivent être soumises à trois sortes d'essais. 1° Il faut s'assurer si elles sont faciles à travailler, si l'on peut facilement dresser leurs joints et leurs faces : le travail d'une de ces pierres donne la solution de cette première question; 2° si elles sont réfractaires, c'est-à-dire si elles peuvent résister à une haute température sans se fondre : pour cela on

les expose, en petits fragments, à une haute température, dans un creuset brasqué; la chaleur à leur faire éprouver doit être celle qui convient dans les essais des minerais de fer, et même plus élevée, si on peut l'obtenir; on les essaie seules ou mélangées, et entourées de minerais de fer pulvérisés; 3° si elles se brisent au feu : pour cela, on les expose brusquement à la température d'un feu de forge, on les retire lorsqu'elles sont rouges, et on les expose à l'air; si elles supportent bien cette épreuve, on la pousse quelquefois jusqu'à éteindre les pierres rouges dans l'eau. De toutes les pierres que l'on peut avoir à sa disposition, il faut préférer, pour construire les parois de la cuve du fourneau, celles qui se taillent facilement, qui sont réfractaires, et qui ne se fendent ni ne se gercent en passant d'une température extrême à une autre. Il est inutile d'insister sur les soins que l'on doit apporter dans le choix des matériaux avec lesquels on construit les parois des fourneaux : leur bonté influe singulièrement et sur le succès, et sur la durée du fondage.

On met, dans plusieurs pays, une telle attention au choix des pierres des parois, que souvent on les fait venir de très loin. En Suède, il n'existe que quelques carrières dont les pierres soient regardées comme bonnes, et ce sont les seules qu'on emploie à la construction des parois de tous les fourneaux de ce pays. En Norwége, on fait venir d'Angleterre le grès avec lequel on fait les parois des fourneaux de Laurwig; pour le fourneau de Johan Georgenstadt, on tire des pierres de Zwickau, en Saxe, etc.

Lorsque l'on ne peut se procurer des huit espèces de pierres dont on fait ordinairement usage, et que l'on a à sa disposition de bonnes pierres cal-

caires, on peut en construire les parois des fourneaux. Cette sorte de pierre est employée avec succès dans quelques fourneaux de Suède, dans plusieurs fourneaux de l'Allemagne, de France, et particulièrement dans ceux du ci-devant département français du Mont-Blanc. Elle réunit à un haut degré les trois conditions de se travailler facilement, d'être infusible, et de ne pas se fendiller; mais elle a le défaut de ne pouvoir plus sans se détruire être exposée à l'air, lorsqu'une fois elle a été fortement chauffée.

L'action de la chaleur sur cette pierre la fait passer à l'état de chaux. Cet état n'apporte aucun obstacle au fondage ni à la dureté de la pierre pendant qu'elle est rouge de chaleur, mais aussitôt qu'elle est refroidie, et qu'elle reçoit le contact de l'air, qui tient toujours en dissolution une certaine quantité d'eau, elle tombe en poussière: aussi les parois construites avec des pierres calcaires ont-elles l'inconvénient de nécessiter une reconstruction complète après chaque fondage.

On peut enfin, à défaut de bonne pierre, construire en briques composées et moulées à l'instar de celles employées dans les fours de verreries; ce mode de construction, encore peu usité, me semble même meilleur, et dans la plupart des localités il doit offrir de l'économie.

Le laitier qui coule des hauts fourneaux, et qui forme, après le refroidissement, une masse dure et réfractaire, peut être employé avec avantage à la construction des parois des fourneaux; pour cela, on reçoit dans des moules de fer cette matière vitreuse lorsqu'elle coule, on l'y laisse se figer, et l'on obtient ainsi des briques de laitier, avec lesquelles on construit les parois des cheminées supérieures de quelques fourneaux. On en

fait usage en Suède. On trouve dans le n° 26, pag. 419, du *Journal des mines*, un mémoire bon à consulter sur les détails de préparation de ces briques, ainsi que sur le choix des laitiers qui sont propres à fabriquer celles qui servent à la construction des parois.

La Suède n'est pas le seul endroit où l'on fasse des briques avec les scories des hauts fourneaux : cette pratique est aussi en usage à Kleinboden, dans le Tyrol; mais ici elles ne servent que pour l'intérieur et l'extérieur des maisons.

Les parois de la cheminée des hauts fourneaux étant construites avec deux rangées de matériaux, l'une intérieure, qui forme les *parois proprement dites*, l'autre extérieure, et qui forme les *fausses parois*, on peut, lorsque l'on n'a pas une quantité assez considérable de bonnes pierres réfractaires à sa disposition, choisir les meilleures pour les parois, et réserver les autres pour les fausses parois, qui n'éprouvent pas une température aussi élevée.

DES COMBUSTIBLES.

Trois espèces de combustible peuvent être affectées séparément ou concurremment au travail du fer : le bois, la tourbe et la houille. Examinons séparément l'usage et les propriétés de chacune de ces substances.

Du bois.

Les bois ne sont ordinairement employés dans leur état naturel, et sans avoir éprouvé de préparations préliminaires, qu'aux grillages des mi-

nerais; il est rare que dans leur état naturel ils servent à la fusion des oxides de fer, et avant cette préparation préalable qui constitue la carbonisation. Garney dit que l'on essaya de fondre des minerais de lac (*sée er zen*, espèces de mines limoneuses) avec des morceaux de bon bois de chêne très sec, au lieu de charbon, mais que le travail ne se fit qu'avec perte. Comme ces minerais sont les plus fusibles, et que le bois de chêne est le meilleur, on a conclu de ce mauvais succès qu'avec d'autres minerais, et avec un autre bois, la perte aurait été plus considérable encore.

Cependant, Swédenborg décrit la manière de traiter les minerais de fer des marais à Groning, en Angermanie, avec du bois bien sec, dans des petits fourneaux de cinq à six pieds de haut. (Nous ferons connaître ce procédé, en parlant des moyens d'obtenir le fer par une seule opération. Nous parlerons aussi de l'emploi qu'on a fait dernièrement du bois en nature dans une usine française.) Mais il paraît que cette méthode ne peut pas être appliquée avec un égal succès à la fusion des minerais de fer dans les hauts fourneaux; et Swédenborg rapporte à ce sujet *des essais qui ont été faits pour fondre la mine avec du bois en menus morceaux mêlés avec du charbon:* il conclut de ces essais que l'ancienne méthode, *de n'employer que des charbons seuls, est préférable.*

Un grand nombre de métallurgistes ont essayé de fondre des minerais, soit avec du bois seul, soit avec du bois mêlé de charbon de bois dans des proportions très variées; mais comme, malgré les résultats obtenus par ces essais, on continue l'usage du charbon de bois seul, et sans mélange, nous croyons ne devoir examiner ici que les

propriétés du bois carbonisé, ou mieux du charbon de bois.

Du charbon de bois.

Le moins impur est une combinaison de carbone, de terre, d'alcali, d'oxide de fer, de manganèse, d'un peu d'hydrogène, et probablement d'oxygène.

On distingue sous le nom de *cendres* les substances terreuses, alcalines et métalliques que laisse le bois ou le charbon après sa combustion complète. Les proportions de carbone dans mille parties de charbon calciné sont assez ordinairement, d'après Mushet, entre neuf cents et neuf cent quatre-vingt-cinq, et celles des cendres entre quinze et cent. Lampadius croit que la proportion des cendres dans le charbon est de un à trois pour cent.

La pesanteur du charbon est extrêmement variable : elle diffère selon la nature des bois qui l'ont produit, le temps pendant lequel il a été exposé à l'air, et l'humidité des charbonnières.

La pesanteur du charbon bien sec est sensiblement proportionnelle à celle du bois d'où il a été obtenu, si ces bois ont été bien carbonisés. Les pesanteurs des différents bois que l'on carbonise ordinairement en Europe sont :

Espèces.	Poids du décimètre cube. grammes.	Espèces.	Poids du décimètre cu grammes.
Alizier,	871	Charme.	759.8
Aune,	654.9	Châtaignier,	685.1
Bouleau,	701.9	Chêne.	905.1
Cormier,	910.4	Pin,	50.7
Erable,	755	Poirier,	600
Frêne,	787	Sapin,	486
Hêtre,	720.14	Sapinette,	498
Mélèse,	656	Tilleul,	549
Orme,	700.3	Tremble,	526.7
Peuplier,	400 et 600		

Kirwan, ayant pris la densité de quelques charbons de bois, établit ainsi leur rapport.

Espèces de charbon.	Densité.	Poids du mètre cube.	Poids du pied cube.
de bois de chêne.	0.532	532 kilog.	37 livres 4 onces.
de hêtre.	0.542	542	37 15
de peuplier.	0.280	280	19 10
de sapin.	0.441	441	30 14

On pense que les poids résultant de ces densités sont beaucoup trop grands, et que cela est dû à ce que Kirwan aura laissé les charbons s'imbiber d'humidité.

D'autres expériences faites par des ingénieurs des mines, en prenant les précautions convenables, ont donné les résultats suivants :

ESPÈCES de CHARBON.	DENSITE.	POIDS du mètre cube.	POIDS du pied cube.
		kilog.	livres.
Alizier.	0.196	196	13.12
Aune.	0.134	134	9.6
Bouleau.	0.203	203	14.21
Charme.	0.183	183	12.130
Chêne.	0.155	155	10.140
Erable.	0.164	164	11.80
Frêne.	0.200	200	14
Hêtre.	0.187	187	13
Orme.	0.180	180	12.10
Poirier.	0.252	252	17.64
Sapin.	0.076	072	5
Tilleul.	0.106	106	6.70

Sur l'invitation de M. de Barral, alors préfet du Cher, les maîtres de forges Aubertot et Durand firent diverses observations sur les bois et sur les charbons (*voyez* Journal des Mines, n° 154). Ils trouvèrent que le pied cube de charbon pesait :

De rondin de chêne,	16 liv.	
De cimée de chêne,	15	15 onces.
De taillis de chêne,	11	
De régales de chêne,	10 1/2	
De cimées et régales de chêne,	10 2/3	
De tremble,	12	
De tremble et chêne,	9	
De cimée de chêne et bois blanc,	14	

Le sac de charbon contient environ cinq pieds cubes trois quarts; il pèse communément de quatre-vingt-dix à cent livres, c'est-à-dire quinze livres et demi à dix-sept livres et demi le pied cube. La banne de charbon des forges contient, d'après M. d'Angenoust, cent sept pieds cubes environ; elle pèse quinze cents livres en charbon de bois tendre, et jusqu'à deux mille cinq cent soixante livres en charbon de bois dur, ce qui porterait à environ quatorze livres le poids du pied cube de charbon de bois tendre, et à vingt-quatre livres celui du bois dur : cela suppose un charbon bien chargé d'humidité.

On voit d'après ces observations que les charbons de bois diffèrent considérablement de pésanteur entre eux, et que cette grande différence a lieu également entre les charbons de même bois, puisque l'on a trouvé que le bois de chêne pèse entre dix livres et demie et vingt-quatre livres le pied cube, ou plus exactement entre dix et seize livres. Parmi les causes qui contribuent à produire cette différence, on reconnaît d'abord l'es-

pèce de terrain dans lequel ce bois a cru, et l'humidité dont le charbon a été pénétré depuis l'instant où il a été retiré du four.

Lorsque les charbons sont exposés quelque temps à l'action de l'air et de l'eau, ils absorbent peu à peu de l'humidité, et ils augmentent de poids. M. l'ingénieur Beaussier, ayant exposé des charbons de sapin et de mélèse à l'humidité, trouva que le premier avait augmenté de poids de trente-six pour cent du charbon sec, et le second de vingt-trois; et ces charbons étaient loin d'être arrivés au maximum d'humidité qu'ils peuvent atteindre.

Les charbons, plus ou moins secs, plus ou moins humides, brûlent de différentes manières, selon l'état dans lequel ils se trouvent, et ils produisent des quantités de calorique dépendantes de ces circonstances.

Guyton-Morveau a observé que, lorsque le charbon est récemment calciné dans un creuset, avec du poussier de charbon, et que l'on en a chassé toute l'eau qu'il contenait, il ne brûle plus qu'avec une extrême difficulté; et que, lorsqu'il a été exposé pendant quelque temps à l'action réunie de l'air et de l'humidité, il brûle beaucoup mieux. Il suffit alors, d'après l'observation de M. Morveau, de l'exposer à une température de cent cinquante degrés de Réaumur, pour l'enflammer, lorsqu'il a la quantité d'humidité qui favorise la combustion.

Les charbons qui ont une grande densité, toutes choses d'ailleurs égales, brûlent plus difficilement que ceux qui sont plus légers: aussi les charbons de chêne sont-ils plus difficiles à enflammer que ceux de bois de peuplier et de sapin.

L'état de carbonisation du bois influe encore

sur cette combustion : car le bois exposé à la température de l'eau bouillante laisse d'abord vaporiser l'eau qu'il contient; les acides, les huiles, se vaporisent ensuite; en augmentant un peu la température, le bois brunit et se carbonise, puis il s'enflamme. En général, il paraît que le bois ne commence à brûler que lorsqu'il a été carbonisé, c'est-à-dire lorsqu'on en a chassé toutes les substances vaporisables qu'il retenait, et alors il brûle à la température propre aux charbons fraîchement faits. Mais s'il a déjà commencé à brûler, soit dans le four, soit ailleurs, et qu'on l'éteigne, ou qu'il ait été amené à l'état de braise par une continuation de combustion, il brûle enfin, quoique très sec, avec une assez grande facilité; et cette facile combustion s'observe habituellement lorsque l'on a enflammé concurremment de la braise et du charbon : c'est toujours la première qui s'enflamme et qui sert ensuite à enflammer le second.

Selon que l'air contient plus ou moins d'oxygène, ou qu'il est plus ou moins dense, les charbons peuvent encore s'embraser à une température plus ou moins élevée : on sait avec quelle difficulté on parvient à faire du feu sur le sommet des hautes Alpes. Nous avons tous les jours des exemples de l'effet de l'air condensé.

Ainsi la nature du bois avec lequel on fait le charbon, l'état plus ou moins avancé de carbonisation dans lequel il se trouve lorsqu'on étouffe le four, le degré d'humidité dont il est pénétré, la densité et la pureté de l'air, sont autant de causes qui font varier la combustibilité et la température à laquelle le charbon brûle.

Les charbons, relativement à leur combustibilité, peuvent être employés à des usages différents : on réserve, pour fondre les minerais dans les

hauts fourneaux, les charbons durs, compactes, pesants; et pour traiter la fonte dans les affineries, les charbons tendres, mous, légers.

On divise ordinairement les charbons en trois espèces relativement aux bois qui les produisent: charbons de bois durs, charbons de bois tendre, et charbons de bois résineux.

On place dans les bois durs le châtaignier, le chêne, le charme, le noyer, l'érable, le sycomore; quelques personnes y rangent aussi l'orme; d'autres le mettent parmi les bois qui fournissent des charbons tendres.

Selon l'anglais Mushet, les différents charbons, relativement à leur qualité pour les hauts fourneaux, peuvent être classés dans l'ordre suivant: châtaignier, chêne, noyer, hêtre, érable d'Amérique, sycomore, orme, pin de Norwége, saule, frêne, bouleau, aune, pin d'Écosse. Selon Garney, l'ordre de bonté est: bouleau, aune, pin, tremble, sapin. Ce sont les seuls bois que l'on exploite en Suède pour les usines à fer.

Tout cet ordre de bonté peut varier dans quelques endroits, soit par la nature du terrain dans lequel le bois a cru, soit par l'exposition, soit par l'âge du bois quand on l'a coupé, soit enfin par rapport à la partie des arbres que l'on a carbonisée.

Quelques maîtres de forges pensent que le charbon non seulement participe aux qualités du terrain dans lequel le bois a cru, mais encore que la nature du sol sur lequel il a été cuit a de l'influence: ainsi ils regardent comme un charbon fort et résistant celui dont le bois a cru dans l'argile, et celui d'un terrain calcaire comme devant être léger et facile à brûler. Cette prévision s'est réalisée par l'expérience, en ce qui concerne le terrain. Quant à la qualité dépendante

de l'espèce de terre sur laquelle le bois est carbonisé, on n'a à cet égard aucune donnée positive, et il est même difficile de partager une opinion qui a toute la couleur du préjugé vulgaire.

En général un bois qui croît encore produit de meilleur charbon que celui qui a cessé de croître, et celui-ci en produit de moins mauvais que le bois qui est sur le retour. Aussi préfère-t-on assez généralement des bois coupés à dix-huit ou vingt ans, pour la confection du charbon, à ceux que l'on coupe à tout autre âge. Les vieux bois en général donnent des charbons qui s'impreignent promptement d'humidité, et qui tombent en poussière.

Dans quelques pays, on est dans l'habitude d'écorcer sur pied les bois avant que de les couper. Ces bois, connus à Paris sous le nom de *pelards*, acquièrent par cette opération plus de dureté; et néanmoins le charbon qui en provient présente assez de différence pour que plusieurs maîtres de forges préfèrent celui auquel on a conservé l'écorce : résultat inattendu.

Dans les forges on divise le charbon en *aigre*, *doux*, *fort*, *faible*, suivant la qualité du fer que l'on obtient, et la proportion du minerai qu'il fond. Beaucoup de maîtres sont persuadés que le vieux bois de chêne (celui qui est sur le retour) donne un charbon aigre, tandis que le chêne en taillis donne un charbon doux.

Nous avons déjà parlé de la manière de carboniser le bois, la tourbe et la houille. Nous ne reviendrons pas sur le même objet. Nous nous bornerons à rappeler ici, comme en leur propre lieu, quelques opinions en apparence très bizarres sur l'effet des divers charbons, mais qui, par leur singularité même, méritent d'être examinées,

et soumises à des expériences exactes : car, dans les arts, s'il est utile de se défendre des préjugés, il est non moins dangereux de repousser sans discussion toutes les assertions populaires, lesquelles, quand on vient à les faire passer par le creuset de l'expérience, se trouvent presque toujours fondées sur des raisons bonnes, quoique mal expliquées, ou d'abord inaperçues. Par exemple, on a dit que le charbon cuit en arrangeant les bûches en meules coniques avec des branchages ou des morceaux placés verticalement fond moins de minerai que celui fait en plaçant les bûches horizontalement. Le célèbre Garney lui-même est de cette opinion. M. Iroy, maître de forges à La Hutte, fabricant distingué, la partage avec nombre de maîtres. M. Iroy dit avoir obtenu de meilleurs résultats avec des bois carbonisés horizontalement. Il est à croire que cette différence tient, pour ce dernier cas, à une carbonisation plus égale.

On reconnaît que le charbon est bien cuit lorsqu'il est dur, compacte, sonore, brillant, en gros morceaux qui se rompent facilement, et qui présentent les couleurs de l'iris dans leur cassure. Quelques uns doivent être pesants, d'autres légers, suivant la nature des bois qui les produisent.

Lorsque les charbons ne sont pas assez cuits, ils ont une couleur grisâtre; ils produisent une flamme blanche, se rompent difficilement, et brûlent comme le bois, en répandant de la fumée, ce qui les a fait appeler *fumerons*. Au contraire les charbons trop brûlés sont d'un noir terne; ils sont tendres, friables, ne donnent plus de son, et ont beaucoup de ressemblance avec la braise, dont effectivement ils sont plus ou moins rapprochés. A Paris, où le prix des combustibles

est en général en rapport assez exact avec la chaleur qu'ils procurent, le prix de la braise est à celui du charbon à peu près : : 3 : 8.

Garney prétend que les charbons provenant des bois qui ont été chauffés pour en retirer le goudron brûlent trop vite, et produisent une fonte qui donne un fer cassant à froid.

Gaertener dit que les bois carbonisés en petits tas, c'est-à-dire dans lesquels on ne carbonise à la fois que de petites quantités de bois, comme cela se pratique dans le Thuringen, donnent des charbons préférables à ceux que l'on obtient en grand tas, selon la méthode pratiquée dans le Hartz.

Arrivé dans l'usine par des moyens de transport appropriés aux circonstances et aux usages locaux, le charbon doit être déposé dans des charbonnières situées dans le voisinage des hauts fourneaux, afin qu'il y ait moins de main-d'œuvre et de déchet pour l'approche pendant le travail. Ces charbonnières sont de grands bâtiments couverts, pour garantir le combustible de la pluie, de la neige et de l'humidité.

Il faut, lorsque l'on construit une charbonnière, observer trois conditions : 1° que le sol soit sec; 2° qu'elle soit à la portée des fourneaux; 3° qu'elle soit abritée des étincelles qui sortent du gueulard, et qui pourraient l'incendier.

Les hangards à charbon doivent avoir trente à quarante pieds de côté, et douze à dix-huit pieds de haut; ils doivent contenir de trente à cinquante mille pieds cubes de charbon. Lorsqu'ils sont en planches, il faut poser les pans de bois de face sur des petits murs en maçonnerie.

On est dans l'habitude de laisser le charbon séjourner quelques semaines dans la charbonnière

avant de l'employer, afin qu'il se pénètre d'une petite portion d'humidité qui augmente sa *combustibilité*. Il paraît (et c'est l'opinion de Garney, de Gaertener, de Marcher, et d'un très grand nombre de maîtres de forges) que l'on consume beaucoup plus de charbon frais, sortant du four, pour obtenir une quantité donnée de fonte, que l'on ne brûle de charbon qui a séjourné quelque temps dans la charbonnière.

Mais cependant il faut éviter de l'y laisser trop long-temps séjourner, surtout si le magasin est humide, parce qu'il serait pénétré d'une trop grande quantité d'eau, il se décomposerait et tomberait en poussière ; il y a même moins d'inconvénient à employer le charbon frais que trop vieux. Dans de certaines circonstances il faut le brûler à l'état de fraîcheur : c'est lorsque le fourneau se refroidit, et que l'on craint qu'il ne s'engorge. Comme le charbon frais produit beaucoup plus de chaleur lorsqu'il a traversé la bure, et qu'il descend pour se brûler dans l'espace que forment les étalages, il élève la température du fourneau à un plus haut degré, et fait fondre les matières qui pourraient occasioner des engorgements.

Il est nécessaire, lorsqu'un fondage est commencé, de faire usage d'un charbon qui produise une température et une vitesse de descente égales, afin de pouvoir charger des quantités constantes de minerai. Si l'on voulait employer le charbon au sortir des fours de carbonisation, il faudrait disposer les opérations de manière que la carbonisation et les arrivages pussent être en rapport exact avec la consommation du haut fourneau : le moindre dérangement qui occasionerait du retard en forçant d'arrêter le fondage occasionerait de grandes pertes.

La difficulté d'obtenir du charbon au moment où on en a besoin pour le haut fourneau, et sa plus grande consommation lorsque l'on brûle du charbon frais, a déterminé à faire des approvisionnements de ce combustible, ce qui oblige souvent les maîtres de forges à brûler du charbon qui a perdu une partie de sa force dans la charbonnière.

En sortant le charbon de la charbonnière, il faut éviter de le laisser séjourner trop long-temps à découvert, crainte qu'il n'attire l'humidité et ne se détériore.

On conçoit facilement que la trop grande humidité diminue la force du charbon par deux causes différentes : 1° parce qu'il faut d'abord, en le chauffant, chasser l'eau qu'il contient, et que l'on est obligé, pour la dégager et la vaporiser, de consumer une partie de la chaleur qui provient de la combustion ; 2° parce que l'eau qui séjourne dans le charbon éprouve l'action de ce combustible, et qu'elle s'y décompose en partie. Une portion de l'hydrogène de la partie décomposée se combine avec une portion de carbone pour former du carbure d'hydrogène, et l'oxygène provenant de cette même partie se combine également avec du carbone, et forme ou de l'oxide de carbone, ou de l'acide carbonique : c'est cette portion d'eau ainsi décomposée qui rend le charbon pulvérulent.

Comme on reste toujours le maître d'augmenter ou de diminuer la température du fourneau, en augmentant ou diminuant la vitesse de la soufflerie, pour déterminer une combustion plus rapide ou plus lente, il est évident qu'un fondeur intelligent pourra toujours employer des charbons récents ou anciens, sans que dans un cas ni dans

l'autre il y ait aucun changement dans la température du fourneau ou dans la vitesse de la descente de la charge ; mais la difficulté de trouver des fondeurs qui pourraient ou voudraient s'assujettir à tous les soins que nécessiterait la variation dans la quantité d'air lancé, relativement à la nature des charbons employés, les pertes considérables que pourraient occasioner de légères inattentions, ont déterminé les maîtres à faire d'avance les provisions qui leur sont nécessaires, et à employer un charbon moins avantageux par lui-même, mais dont la combustion soit uniforme.

Il est des pays où l'on ne brûle que du charbon dur dans les hauts fourneaux ou dans les affineries ; d'autres où l'on brûle du charbon tendre dans les deux fourneaux ; d'autres enfin où l'on brûle du charbon dur dans les hauts fourneaux, et du charbon tendre seul dans les affineries : lorsque l'on a le choix de ses charbons, la troisième méthode est préférable. Quelques métallurgistes, et entre autres Marcher, prétendent au contraire qu'il faut préférer une nouvelle méthode qui consiste à mélanger dans le haut fourneau deux parties de charbon tendre sur une de dur.

Lorsque l'on a carbonisé des branches d'arbres ou du bois taillis d'un petit diamètre, le charbon peut être employé tel qu'il sort des fours à charbon ; mais si l'on a carbonisé des troncs d'arbres d'un gros diamètre, ou même des gros quartiers, le charbon obtenu est trop volumineux pour être chargé immédiatement dans cet état : il occasionerait dans la *cheminée* du fourneau des vides considérables, à travers lesquels le minerai pourrait tomber avant que d'être désoxidé et fondu ; le fourneau étant moins rempli, il y aurait d'ail-

leurs moins de chaleur dégagée dans ces mêmes espaces, et conséquemment une température moins élevée. Il faut donc briser les gros charbons pour les rendre plus propres à la fusion.

Le charbon trop menu, celui qui est tombé en poussière par l'effet de l'humidité, présente de son côté de nouveaux inconvénients : d'abord il remplit trop exactement les vides du fourneau, et par là il s'oppose à une libre circulation de l'air, et étouffe le feu; ensuite ce poussier, qui très souvent est mêlé avec des terres provenant soit de l'aire du four de carbonisation, soit du sol de la charbonnière, introduit des substances plus ou moins nuisibles à une prompte fusion. Les morceaux de charbon de deux à trois pouces sur cinq ou huit sont ceux que l'on doit préférer.

De la tourbe.

La tourbe est formée, à ce qui paraît certain, de débris de substances végétales que l'on trouve dans les marais encore existants ou qui ont existé autrefois. Ces débris sont ordinairement des fragments de plantes, des racines plus ou moins décomposées, entassées, accumulées en dépôts de plusieurs pieds, et quelquefois même de plusieurs toises d'épaisseur.

Ce combustible est très varié. Marcher distingue quatre espèces de tourbe : 1° celle des *gazons*, remplie de racines non décomposées; 2° celle des *marais*, un peu plus décomposée; 3° celle de *poix* : celle-ci est noire, offrant quelque indice de plantes; 4° *bourbeuse*, tourbe dans laquelle on ne reconnaît plus aucune trace de végétal.

Lorsque la tourbe est extraite des lieux maré-

cageux où les plantes doivent avoir été déposées et où elles ont donné lieu à la formation de ce combustible, elle est remplie et pénétrée d'humidité; on la laisse exposée à l'action de l'air pour la dessécher; quelquefois on la comprime d'abord.

Marcher rapporte plusieurs observations sur la pesanteur des tourbes, d'où il résulte que le pied cube pèse, lorsqu'elles sont bien sèches, depuis neuf jusqu'à soixante livres; et que le pied cube de la même tourbe carbonisée varie entre cinq et trente-deux livres.

Simplement séchée à l'air, la tourbe retient encore une quantité considérable d'eau et de substance grasse dont la proportion varie entre 0.22 et 0.75, et cela selon la nature, l'espèce et la pureté de cette substance. Celle qui est la plus pure donne un plus grand produit à la distillation. Lorsque cette tourbe est exposée sèche à une température de cent à cent vingt degrés de Réaumur, elle laisse dégager une grande quantité d'eau. Thomson a observé que la tourbe d'Ecosse, exposée à cent dix-neuf degrés de Réaumur, perdait encore un quart de son poids.

La tourbe, exposée à une température de deux cent vingt à deux cent quatre-vingts degrés de Réaumur, se carbonise; elle exhale dans cette opération une odeur semblable à celle qu'elle répand en brûlant.

Cinq analyses de la tourbe ont donné,

D'APRÈS MM.	SUBSTANCES vaporisables.	CARBONE.	CENDRE.
Muschet.	0.726 0.728	0.252 0.151	0.022 0.121
Thomson.	0.750	0.240	0.017
Marcher.	0.220 0.480	0.650 0.370	0.130 0.150

Ainsi la tourbe sèche contient entre le quart et les trois quarts de substance vaporisable, et le charbon de tourbe retient de 0.4 à 0.44 de cendre.

Le charbon de tourbe est très avide d'eau; il l'attire puissamment de l'atmosphère. Le carbone y est dans un état propre à agir fortement sur ce fluide, et à le décomposer : aussi voit-on qu'il s'enflamme spontanément après avoir été exposé à la pluie.

Il était facile de prévoir que la tourbe sèche, qui est susceptible de retenir encore les trois quarts de son poids de matières vaporisables, serait incapable de produire une chaleur assez forte pour fondre les minerais de fer, quelle que fût la quantité que l'on en accumulerait dans un fourneau, parce que, la vaporisation ayant lieu aux dépens d'une grande portion de calorique, le milieu devait se trouver considérablement refroidi.

Mais le charbon de tourbe, qui est débarrassé de la plus grande partie des substances vaporisables contenues dans le combustible sec, devait

offrir l'espérance de quelques succès. Cependant, en observant la nature de ce charbon, en comparant son excessive combustibilité (qui le place même dans un rang inférieur aux charbons trop faits) à celle de la braise, il était non moins facile d'apercevoir que l'on éprouverait au moins une grande difficulté, pour ne pas dire une sorte d'impossibilité, à l'employer à la fusion des minerais de fer.

Lampadius, professeur de métallurgie à Freyberg, en Saxe, a fait à Radnitz, chez le comte de Sternberg, des essais sur la fusion des minerais de fer, en mêlant une partie de tourbe sèche avec quatre parties de charbon de bois. Il annonce, dans le recueil de ses opuscules chimiques, « qu'il « fut enchanté de l'heureux succès qu'il obtint « avec de la tourbe crue; que la fonte qui en « provenait avait une cassure grise à grins fins, et « qu'elle donnait un très bon fer en barres. »

Ce chimiste, en parlant de la tourbe employée comme combustible, dit dans son *Manuel de métallurgie :* « Les charbons de tourbe qui con- « tiennent peu de terre sont les seuls que l'on « puisse employer à la fonte de tous les minerais « dans les hauts fourneaux, soit *seuls*, soit mé- « langés avec du charbon de bois. L'exemple de « *Wernigerode*, au Hartz, où l'on a fait un fon- « dage avec du charbon de tourbe seulement, « prouve que ce combustible est capable de don- « ner beaucoup de chaleur. »

Mais M. le comte de Sternberg, chez qui les expériences de Lampadius ont été faites, écrivit, à ce sujet, à M. Wagner, « que l'essai fait avec « de la tourbe n'eut un heureux succès à aucun « égard. Lorsque l'on employa ce combustible, on « ne fit nullement attention si la charge de charbon

« n'était pas trop considérable, proportionnelle-
« ment à celle du minerai; on se contenta seule-
« ment d'ajouter provisoirement dix livres de
« tourbe à la charge de charbon de sapin, qui était
« de deux cent soixante livres..... Enfin, d'après
« un grand nombre d'essais, il parut que, lorsque
« le charbon était en quantité superflue, on pou-
« vait ajouter de la tourbe sans nuire au travail;
« mais il n'en résultait aucun avantage. »

M. Wagner, directeur des mines et usines en Bavière, a publié (*voyez Journal des mines*, 14e vol.) les essais qui ont été faits dans la fonderie de Bergen, pour substituer de la tourbe ou du charbon de tourbe, en tout ou en partie, au charbon de bois que l'on y brûle ordinairement. Ces expériences ont été commencées par le directeur qui l'a précédé; elles ont été continuées par une commission, et achevées par M. Wagner. La conclusion à laquelle on est arrivé est celle-ci : « Les essais de Bergen ont été faits en grand, avec « toute la précision possible; ils ont été variés : « on peut y avoir confiance. Ils semblent indi- « quer, il est vrai, *qu'il est très vraisemblable* « *que la tourbe crue ne peut pas servir à la fonte* « *des minerais de fer;* cependant il ne donne « pas encore cette *conséquence comme une dé-* « *cision positive.*

« Quant à ce que quelques auteurs, tels que « *Datzl, Reuss, Lampadius,* ont écrit sur l'a- « vantage dont la tourbe peut être susceptible « dans les hauts fourneaux, je dois le dire, cela « me paraît bien peu décisif; et ce que ces écri- « vains rapportent à ce sujet me semble souvent « contradictoire. »

Dans une lettre publiée dans les *Annales des mines,* du baron de Moll, traduite par l'ingénieur

français Daubuisson, et insérée dans le 15e vol. du *Journal des mines*, M. E. G. S., métallurgiste habile et distingué, rapporte des essais, qui ont été faits en Tyrol avec une grande précision. Sa lettre se termine ainsi : « Pendant que j'étais occupé « dans la fonderie à ces essais, qui m'avaient fait « voir que la tourbe employée dans les hauts fourneaux ne peut remplacer le charbon de bois, et « augmenter le produit, on travaillait aux forges « à affiner la fonte provenant de nos essais, et l'on « tenait une note exacte de tout ce qui se passait « pendant cette opération. »

A la suite du tableau qui indique les résultats de cet affinage, on observe que la conclusion de ces essais est telle que l'emploi de la tourbe carbonisée n'a produit aucune épargne dans la quantité de charbon de bois que l'on a employée conjointement avec elle, qu'il a diminué la quantité de fer obtenu, et qu'il en a surtout altéré la qualité. Les effets de la tourbe crue ont été encore, ainsi qu'on pouvait s'y attendre, plus sensiblement désavantageux à tous égards, à cause du soufre et du phosphore que presque toutes les variétés de tourbe contiennent presque constamment, soit à l'état d'acide, soit autrement.

Quant à l'exemple de *Wernigerode*, cité par Lampadius, M. Wagner observe (*voyez Journal des mines*, 15e vol.) « qu'il n'est pas aussi con- « cluant qu'on pourrait le croire en faveur de l'u- « sage de la tourbe carbonisée. On sait que, ce « combustible ne produisant pas l'effet qu'on s'en « était promis dans les hauts fourneaux, on ne « l'employa plus que pour affiner le fer; ensuite « même ce ne fut que pour l'étirer en barres; et « enfin, voyant que son usage entraînait à de plus « grandes dépenses, au lieu de produire de l'éco- « nomie, on le cessa entièrement. »

Tous les essais faits sur l'emploi de la tourbe pour traiter les minerais de fer, ainsi que les discussions que ces essais ont fait naître, semblent prouver que ce combustible ne peut être employé en aucune manière pour fondre ce métal. Cependant il ne faut pas perdre de vue qu'avant qu'on ne fût parvenu en Angleterre à faire usage du *coke* ou charbon de houille pour fondre les minerais de fer, les maîtres de forges étaient persuadés que jamais la houille ne pourrait fournir un combustible utile dans le traitement de ces minerais. Le célèbre Swedenborg disait, en parlant de la houille : « Il est douteux que cette terre « combustible pût être utile dans les fourneaux « qui demandent un feu violent, capable de « dompter les métaux qui y sont exposés à nu, et « de les mettre en fusion. » Suspendons donc notre jugement définitif sur l'emploi de la tourbe; mais néanmoins j'ai cru devoir être minutieux dans les détails qui la concernent, parce qu'on en voit encore recommander sans réflexion l'usage pour des feux violents, et qu'une tentative malheureuse en ce genre, sans essais préalables, pourrait avoir le plus fâcheux résultat pour une usine.

De la houille.

Voici le combustible qui a élevé les Anglais au degré de prospérité où les a placés le traitement du fer; et c'est à lui que nous devons à notre tour demander celle de nos usines. Déjà les plus heureux succès dans plusieurs localités ont, dans ces dernières années, couronné les efforts des maîtres de forges diligents et habiles. Le moment n'est pas éloigné où, dans tous les pays de houillères et

partout où l'apport de ce précieux minéral pourra être effectué à peu de frais, la houille remplacera pour les usines à fer le bois employé jusqu'ici, et qui se trouvera ainsi réservé aux autres usages pour lequel il est indispensable.

On appelle *houille*, ou charbon de terre (les Anglais disent *charbon de mer*), un combustible fossile que l'on trouve en couches ou en nids dans les terrains secondaires. Ce combustible contient du carbone, de l'eau, de l'huile empyreumatique mêlée de goudron et d'ammoniaque, des terres, et accidentellement des acides, des substances métalliques. Quelques houilles sont mélangées de pyrites de fer.

La densité de la houille varie entre douze et seize, celle de l'eau étant dix. On a analysé des houilles, et l'on a reconnu qu'il existait de grandes différences entre elles. Lorsqu'on les expose à l'action du feu dans des vaisseaux fermés, un grand nombre de ces combustibles diminuent de poids, et cette diminution est quelquefois de 0.50 à 0.60; d'autres au contraire ne présentent aucune diminution sensible.

Un charbon de terre de Décize, exposé à l'action du feu dans une cornue, a donné à Sage un résidu charbonneux de 0.60. Berthollet a obtenu d'une houille des Cévennes soixante-dix-sept de résidu, en la distillant de la même manière.

D'autres houilles de France ont produit de 0.11 à 0.80 de charbon, de 0.10 à 0.40 de matières vaporisables, et de 0.11 à 0.45 de cendre.

Des houilles d'Angleterre, analysées par Kirwan, ont produit de 0.57 à 0.75 de charbon, de 0.22 à 0.41 de matières vaporisables, et de 0.10 à 0.50 de cendre.

Plusieurs houilles du même pays, avec le char-

bon desquelles on traite le minerai de fer, ayant été analysées par divers savants (*voyez Annales des arts et manufactures,* tom. 9), ont produit de 0.36 à 0.55 de charbon, de 0.42 à 0.51 de substances vaporisables, et de 0.02 à 0.12 de cendre.

Les houilles d'Italie, analysées par Fabroni (*Marcher,* 6e vol.), ont donné de 0.25 à 0.60 de charbon, de 0.12 à 0.75 de substances vaporisables, et de 0.03 à 0.33 de cendre.

Proust ayant analysé les houilles d'Espagne (*Journal de Physique,* année 1826, tom. 2), a obtenu de 0.64 à 0.75 de charbon, de 0.20 à 0.40 de substances vaporisables, et de 0.02 à 0.07 de cendre.

En général, on peut conclure de toutes les analyses de houille qui ont été faites jusqu'à présent que celles qui sont employées à la fusion des minerais de fer contiennent de 0.35 à 0.80 de partie charbonneuse, de 0.20 à 0.50 de matière vaporisable, et de 0.01 à 0.16 de cendre.

Les houilles, telles qu'elles sortent du sein de la terre, sont susceptibles de se combiner avec des quantités d'eau plus ou moins considérables. Des expériences faites par les ingénieurs français Duhamel et Blavier (*Journal des Mines,* tom. 11) leur ont prouvé que le pied cube de houille sèche pesait entre quarante-six et quatre-vingt-dix-neuf kilogrammes, et l'hectolitre entre cent dix-sept et cent quarante-six; qu'en le mouillant, ce combustible augmentait de poids et de volume; que l'on pouvait faire entrer de trente-six à cinquante-deux kilogrammes d'eau par hectolitre de houille sèche; enfin que la quantité qui peut être ajoutée à la houille est toujours en raison directe de sa trituration, et en raison inverse de sa pesanteur spécifique.

Il existe plusieurs principales variétés de houilles. M. Haüy en distingue quatre : *feuilletée, bacillaire, compacte, papyracée.* M. Voigt (*Journal des Mines,* n° 157) divise les combustibles que l'on confond ordinairement sous le nom de houille en deux espèces : houille, et bois bitumineux. Il sous-divise les houilles, proprement dites, en cinq sous-espèces : *houille schisteuse, houille semblable à de la suie, schiste imprégné de houille, houille feuilletée* et *houille limoneuse.* Il sous-divise également les bois bitumineux en huit sous-espèces : 1° *bois bitumineux;* 2° *jayet;* 3° *cannel-coal* des Anglais; 4° *charbon fossile brun;* 5° *terre végétale bitumineuse brune;* 6° *terre végétale bitumineuse grise;* 7° *charbon fossile en barres;* 8° *charbon éclatant.* Mais, pour simplifier cette division, on peut se borner à la considération des houilles en usage sous trois espèces : *houille sèche, houille maigre, houille grasse.*

On appelle *houille sèche* celle qui ne donne que peu ou point de produit par la distillation. Cette espèce de houille brûle avec une si grande difficulté, que plusieurs minéralogistes l'avaient regardée comme incombustible. Dolomieu lui avait en conséquence donné le nom d'*anthracite* pour la distinguer. On la trouve ordinairement dans les terrains primitifs; et, malgré l'opinion du savant géologue qui l'a nommée, on l'extrait avec soin partout où l'on en trouve, et on l'emploie, soit à la forge des maréchaux, soit à la cuisson de la chaux. Ces deux observations auraient dû suffire pour ne pas lui ôter le nom de houille, généralement attribué à un combustible en usage.

On appelle *houille maigre* celle qui brûle tranquillement au feu, sans y augmenter sensiblement de volume. Ce combustible, peu estimé, se rencontre le plus souvent dans les montagnes calcaires. Il brûle très bien, donne du bitume et des gaz par la distillation; mais le charbon que l'on en obtient conserve le volume et la forme de la houille primitive.

On appelle *houille grasse* celle qui augmente de volume en brûlant, et dont les parties divisées se réunissent, se collent ensemble. Elle se trouve ordinairement entre des couches de grès. C'est la houille la plus estimée, soit pour être employée directement, soit pour être carbonisée. Elle produit un coke spongieux qu'on emploie avec beaucoup de succès dans la fabrication du fer.

Ces trois espèces de houilles, analysées comparativement et avec beaucoup de soin dans la ci-devant école pratique des mines de Moustiers, ont donné à MM. les ingénieurs français les résultats suivants.

Espèce de houille.	Gisements.	Eau, huile, et gaz.	Carbone.	Oxide de fer.	Silice.	Chaux.	Pynte.
Sèche.	Champany.	0.520	0.092	0.147	0.076		0.216
Maigre.	Entrevernes.	0.395	0.478	0.069		0.051	
Grasse.	Rive de Gier.	0.410	0.620	0.022	0.015		

Sept houilles sèches, analysées par plusieurs savants, ont produit :

Gisements.	Subst. vaporis.	Carbone.	Oxide de fer.	Silice.	Chaux.	Alumine.	Analysées par
Tarentaise.	0.08	0.840	0.004	0.130	0.010	0.011	Wérgleb.
		0.900	0.030	0.02		0.05	Pauzerberg.
		0.900	0.102	0.04		0.04	
		0.720	0.104	0.13		0.03	Dolomieu.
De Kilkennie.		0.963	0.037				Kirwan.
		0.933	0.306				Klaproth.
		0.837	0.163				Wiegleb.

La houille crue n'est ordinairement employée, dans le travail du fer, que lorsque ce métal est traité au fourneau de réverbère; mais l'on doit faire usage, dans cette opération, de la houille grasse, qui produit une belle flamme. Cependant on peut aussi, au besoin, se servir de houille maigre au fourneau de réverbère; mais il faut en exclure la houille sèche, qui donne rarement de la flamme, à moins qu'elle ne soit excitée par de forts courants d'air. C'est toujours à l'état de charbon, appelé par les Anglais coke, que la houille est employée dans les hauts fourneaux.

Du charbon de houille ou *coke*.

La houille se carbonise comme le bois. Nous avons parlé ci-devant de cette opération avec quelque détail.

Le charbon obtenu de la houille est de trois espèces : *lourd*, *fort* ou *léger*, selon la nature du combustible qui le produit; et il éprouve, pour brûler, une difficulté d'autant plus grande qu'il est plus dense, que le charbon est plus concentré. Assez généralement l'effet qu'il produit est proportionnel à la quantité de carbone qu'il contient. Le charbon de houille, lorsqu'on le brûle, laisse des quantités de cendre plus ou moins considérables, et qui varient entre 0.04 et 0.40.

La nature des terres et des oxides métalliques qui composent les cendres, leurs proportions par rapport aux charbons, ne sont pas indifférentes. Ces substances, lorsque les proportions en sont considérables, augmentent la masse des verres terreux du fondage, des laitiers, et nuisent à la fusion ou la favorisent, selon que, par leur mélange

avec les terres de la gangue, elles les rendent plus réfractaires ou plus fusibles.

Il est donc utile, nécessaire même, de connaître la quantité et les composants de la cendre que produit le charbon de houille que l'on emploie, afin de préférer, entre tous les minerais que l'on a à sa disposition, ceux dont la fusion de la gangue est favorisée par la cendre, ou pour déterminer la nature des fondants qu'il faut y ajouter.

De tous les charbons de houille, celui que l'on doit préférer est le lamelleux ou strié, léger et d'un gris argentin.

Comme les charbons de bois, ceux de houille exposés à l'air absorbent de l'humidité. Mushet dit que leur poids augmente d'un huitième à un demi, c'est-à-dire de 12 à 50 pour cent du charbon; il paraît même qu'ils sont susceptibles d'être détériorés, quoique cependant à un moindre degré que les charbons de bois.

Il faut que le charbon qu'on emploie soit nouvellement et bien carbonisé. Celui qui n'est pas assez cuit retient encore des substances vaporisables qu'il faut dégager; ceux qui ne sont pas récents contiennent de l'eau et des gaz qu'il faut également vaporiser; et pour effectuer ces vaporisations il faut employer une partie du calorique qui se dégage par la combustion, ce qui diminue d'autant la température du fourneau, et lui fait produire de la fonte blanche.

Comparaison entre les charbons de bois et ceux de houille dans la fonte des minerais de fer.

Les charbons employés pour fondre les minerais de fer produisent ordinairement trois effets

principaux : 1° ils désoxident le métal ; 2° ils le fondent ; 3° ils se combinent en partie avec lui pour produire de la fonte grise.

Les charbons de bois sont légers, faciles à brûler ; ou compactes, durs, et brûlent plus difficilement.

Les charbons de houille sont tous durs, compactes et difficiles à brûler ; il en est même, comme ceux de houille sèche, qui ne se brûlent qu'avec une très grande difficulté.

Si l'on rangeait les charbons relativement à leur combustibilité, on pourrait placer à la tête de la série le charbon de bois tendre, ensuite celui de bois dur, puis celui de houille grasse, de houille maigre, et l'on terminerait par celui de houille sèche.

Lorsque les particules de carbone, dans les charbons, ont peu d'adhésion, ou qu'il se trouve, dans les fragments du combustible, des intervalles à travers desquels l'air peut pénétrer, ces charbons sont légers et brûlent très bien ; le carbone se combine facilement avec l'oxygène et sur de plus grandes surfaces, et il enlève promptement cette substance à l'oxide métallique.

Ainsi, en ne considérant les charbons que relativement à la désoxidation des minerais, on voit d'abord que l'on doit préférer ceux de bois tendre, et que les autres viennent en succession et dans leur ordre de combustibilité, lorsque l'on ne peut se procurer des premiers en quantité suffisante.

Mais si l'on veut déterminer le choix entre les charbons, par rapport à la température que l'on doit en obtenir, il semble au premier instant que l'on doive préférer les charbons compactes, et qui contiennent beaucoup de carbone sous un

petit volume, à des charbons légers et dans lesquels le carbone est disséminé.

Plus il y a de carbone réuni dans un espace donné, plus il peut se dégager de calorique, si l'on introduit assez d'oxygène pour qu'il se combine avec lui; mais plus le carbone est condensé, plus les charbons sont compactes, plus on peut accumuler de carbone dans un espace donné: d'où il paraît suivre que les charbons compactes (ceux qui contiennent leur carbone très condensé) doivent être plus propres à élever la température des fourneaux, et que, sous ce rapport, les charbons de houille doivent être préférés aux charbons de bois; enfin, que, parmi les premiers, le meilleur serait le charbon de houille sèche, puisque c'est celui qui contient le plus de carbone dans un volume donné.

Ce résultat serait vrai si, à masse égale, dans un espace déterminé, il se brûlait la même quantité de carbone dans un temps donné; mais nous avons vu que les charbons légers étaient plus *combustibles* que les durs, c'est-à-dire qu'ils se combinaient plus rapidement avec l'oxygène, et que, dans un temps donné, il s'en brûlait davantage. Cela tient à ce que, dans les charbons durs, compactes, il n'existe de combustion qu'à la surface, tandis que dans les charbons légers et poreux, l'air qui passe à travers chaque fragment détermine une plus grande surface de combustion: de là une plus grande quantité de carbone brûlé, et par conséquent une plus grande quantité de chaleur dégagée.

Il suit donc de là que la température d'un milieu doit se composer de deux éléments différents: 1° de la combustibilité des charbons, 2° de leur compacité. Mais ces deux éléments ont deux mar-

ches opposées : car, plus les charbons sont combustibles, plus ils sont légers, et moins ils réunissent de carbone dans un espace donné; et plus les charbons sont compactes, plus ils réunissent de carbone dans un espace donné, moins ils sont combustibles, moins il se combine de leur carbone avec l'oxygène dans un temps donné. Or, comme c'est de la combinaison de ces deux effets que se compose la température, il s'ensuit que ce sont les charbons dont le produit de la combustibilité par celui de la compacité donne le plus grand résultat qui doivent élever la température au plus haut degré. L'expérience prouve que les charbons qui donnent la plus grande chaleur sont ceux de bois durs, particulièrement les charbons de chêne et de hêtre, et que, à partir de ces bois, les autres, soit au-dessus, c'est-à-dire les plus denses, comme ceux de houille grasse; soit au-dessous, les plus légers, comme ceux des bois tendres, produisent une moindre température.

Ainsi, par rapport à la fusion du fer, le charbon que l'on doit préférer est celui de bois dur, et les autres plus ou moins tendres ne doivent être employés qu'en remplacement de ce premier, s'il n'est pas assez abondant, ou lorsque, par son prix, il ne présente pas assez d'économie.

Pour que le minerai soit désoxidé, il est nécessaire qu'il reste un temps plus ou moins long en contact avec le combustible. Cette durée dépend de la nature du charbon et de la division du minerai. Plus le charbon est dur, plus la durée du contact doit être longue; plus il est tendre, et moins de temps est nécessaire. On peut augmenter ou diminuer la durée de ce contact en faisant varier la hauteur du fourneau. Dans les fourneaux

très bas, la charge peut en quelques heures arriver aux étalages où le minerai se fond ; dans les fourneaux très élevés, au contraire, la charge n'arrive au foyer supérieur qu'après quelques jours. On doit donc, pour la hauteur à donner aux fourneaux, avoir égard à la dureté et à la combustibilité du charbon : aussi la plupart des fourneaux dans lesquels on fond au charbon de bois, si l'on en excepte quelques fourneaux de Sibérie, n'ont que seize à trente pieds de hauteur, tandis que tous ceux à charbon de houille ont de trente-cinq à soixante pieds.

On peut encore désoxider les minerais dans des fourneaux moins hauts, en augmentant la proportion du charbon, ou en diminuant la quantité d'air ; mais ces deux modes, lorsqu'ils sortent de certaines limites, sont défectueux, en ce qu'ils occasionent une trop grande dépense.

La fonte que l'on obtient, soit avec des charbons de bois, soit avec des charbons de houille, participe à la fois de la nature du minerai et de celle du charbon. On a vu qu'en fondant du minerai de bonne qualité, quelques charbons de bois le rendaient défectueux. Quant au charbon de houille, ou coke, la fonte qu'il produit est ordinairement très carburée à cause de la haute température qu'elle a éprouvée, et du long temps que le minerai est resté en contact avec le charbon. Cette fonte est noire, et si le fer que l'on en retire n'est pas bien purifié, si l'on ne parvient pas à en dégager tout le charbon qu'il contient, il devient cassant à froid, et brisant à chaud.

La difficulté que présente la fonte trop carburée pour être purifiée et convertie en bon fer, l'extrême désavantage du cassant à froid et du brisant à chaud auquel le fer semble être soumis

quand il a été obtenu avec de la houille, a fait pendant long-temps destiner cette espèce de fonte exclusivement à la fabrication de la poterie et à celle des objets coulés en fonte moulée; elle a même, par sa surcharge de carbone, un grand avantage sur les autres, et qui la fait préférer dans un grand nombre de circonstances : elle est douce et résistante; elle peut être travaillée à la lime et au marteau. Elle est donc beaucoup plus précieuse pour couler des canons de fonte de fer, qui doivent à un haut degré jouir de ces propriétés.

On est parvenu en Angleterre, en Allemagne, et même sur quelques points de la France, à vaincre la difficulté que l'on éprouvait à affiner la fonte trop carburée, et à en expulser le carbone surabondant qu'elle contient. L'on traite aujourd'hui avec beaucoup de succès cette fonte dans plusieurs affineries, en y employant même de la houille. Dans la section du travail du fer, cet objet sera traité avec tous les développements nécessaires.

Pour obvier aux inconvéniens dont on vient de parler, plusieurs métallurgistes ont essayé de fondre les minerais de fer avec la houille sans qu'ils fussent en contact avec ce combustible, soit pendant la désoxidation des minerais, soit pendant leur fusion. On trouve dans le tome 8 des *Annales des arts et manufactures* d'Oreilly la description d'un fourneau proposé par M. le comte de Stemberg, qui, au nombre des tentatives faites pour arriver à ce but, semble être la mieux calculée. C'est un fourneau conique placé sur deux fourneaux de réverbère. Le cône ou la cheminée placée au-dessus des deux fourneaux de réverbère s'emplit avec un mélange de minerai et de charbon de bois; la flamme qui se dégage des foyers des deux

fourneaux arrive dans la cheminée après avoir parcouru le petit espace qui les sépare. Ces flammes produisent deux effets : elles échauffent le minerai et le charbon de bois; ce dernier s'enflamme, et la combustion est entretenue par l'oxygène resté dans l'air, qu'elles entraînent avec elles. Ainsi l'oxide de fer est échauffé tout à la fois par la flamme des deux foyers de réverbère, et par la combustion du charbon de bois, avec lequel il est en contact. Ces deux sources de chaleur élèvent la température à un degré propre à la fusion, en même temps que, par le contact avec le charbon de bois, et par les gaz carbonés qui les traversent, les minerais de fer se désoxident.

Plusieurs métallurgistes ont proposé de fondre le minerai dans des fourneaux de réverbère : il faut pour cela le pulvériser après son grillage, le mélanger avec du poussier de charbon, et l'exposer ainsi, dans un fourneau de réverbère, à l'action de la chaleur qui se dégage du foyer. Nous doutons fort que l'on trouve jamais dans ce procédé aucune économie, ni de temps, ni de combustible.

Les charbons de bois sont employés en diverses proportions pour fondre les minerais de fer; ces proportions varient 1° avec la fusibilité des oxides et des terres; 2° avec la combustibilité et la compacité du charbon; 3° avec les proportions des fourneaux; 4° avec le mode de travail que l'on suit; 5° relativement aux différentes fontes blanches ou grises que l'on veut obtenir. En Styrie et en Carinthie, on obtient cent parties de fonte avec des quantités de charbon de bois qui varient entre soixante-six et deux cent quatre-vingt-dix; la moyenne sur cinquante fourneaux est de cent cinquante. En Sibérie, où les bois sont

très communs, et où l'on peut prodiguer le charbon, la quantité qu'on en brûle, par cent parties de fonte, varie entre cent quinze et trois cent cinquante-six ; la moyenne de douze fourneaux est de deux cent six. En Bohême, la proportion de charbon est de cent quatre-vingt-huit ; en Hongrie, de trois cent quarante à cinq cent quarante-neuf ; la moyenne de cinq fourneaux, quatre cent trente. En Suède, la moyenne de deux fourneaux est de cent vingt-sept ; en Saxe, la moyenne de trois fourneaux est de cent soixante-neuf ; dans la Hesse, cent soixante-huit ; en Alsace, la moyenne de trente-quatre fourneaux est de cent cinquante-six ; en France, dans le département du Cher (*voyez* Journal des Mines, n° 154), la moyenne de quatorze fourneaux est de cent cinquante. Ce qui donnerait pour moyenne générale cent soixante-deux parties de charbon de bois pour en obtenir cent de fonte de fer.

La quantité de charbon de houille nécessaire pour obtenir de la fonte des différents minerais varie comme celle des charbons de bois, soit à cause de la fusibilité des mines, soit par la combustibilité et la quantité de carbone contenue dans le charbon, soit d'après les proportions des fourneaux, soit par l'espèce de fonte que l'on veut obtenir.

Mushet, après avoir divisé les charbons de houille en trois espèces : 1° de houille, produisant 0.620 de charbon tenant 0.027 de cendres ; 2° houille collante, produisant 0.500 de charbon tenant 0.042 de cendres ; 3° houille légère, produisant 0.380 de charbon tenant 0.035 de cendres, annonce que, pour obtenir 1000 parties de fonte avec le même minerai, dans le même fourneau, gouverné de la même manière, il faut 1° 2,056

parties de charbon de houille de la première qualité, provenant de 3,330 de houille crue, et contenant 1,964 de carbone; 2° 2,442 parties de charbon de la seconde qualité, provenant de 4,884 de houille et contenant 2,237 de carbone; 3° 2,953 parties de charbon de la troisième qualité, provenant de 7,771 de houille et contenant 2,723 parties de carbone. (*Voyez* Annales des arts et manufactures, d'Oreilly, tom. 6.) Ainsi, d'après Mushet, la quantité moyenne de charbon de houille que l'on consumerait en Angleterre, pour obtenir 100 parties de fonte, serait de 250; elle serait fournie par 533 parties de houille, et elle en contiendrait 231 de carbone.

Au Creusot, près Mont-Cenis, département de Saône-et-Loire, avant l'établissement de la compagnie anglaise, on obtenait 100 parties de fonte avec 300 parties de coke provenant de 600 parties de houille.

A Gleiwitz, dans la haute Silésie, 100 parties de fonte sont obtenues avec 243 de charbon de houille, correspondant à 500 parties de houille environ (*Journal des mines*, tom. 14).

On peut donc, d'après ce que l'on a de données, porter à 260 parties de charbon de houille par 100 de fonte la quantité moyenne nécessaire pour fondre les minerais de fer, et la quantité de houille à 530 parties.

La proportion moyenne de charbon de bois nécessaire pour obtenir 100 parties de fonte est de 162, celle de houille 260. Ainsi la quantité de charbon de houille qu'il faut employer est de beaucoup supérieure, dans le rapport de 260 : 162 :: 100 : 62. Mais la quantité moyenne de houille avec laquelle on peut obtenir 100 parties de fonte est de 530; la quantité moyenne de bois (en partant

de ce résultat moyen de la carbonisation, que 5 parties de bois en produisent une de charbon) est de 810 : d'où il suit que le rapport de la houille au bois brûlé, pour obtenir une même quantité de fonte, est :: 530 : 810, ou :: 53 : 81, ou :: 100 est à 52 environ.

Il suit donc encore de ces rapports que, s'il faut plus de charbon de houille que de charbon de bois pour fondre le minerai de fer, d'un autre côté il faut plus de bois que de houille pour obtenir le même résultat.

La question de préférence à accorder aux bois sur la houille, et *vice versa*, pour le traitement du fer, peut être envisagée sous plusieurs aspects, indépendamment de l'intérêt individuel, et présenter des solutions incomplètes, qu'il n'est pas d'ailleurs de notre objet de traiter ici. Nous ne nous occupons que de l'économie d'argent et de temps, dans l'intérêt actuel et isolé du fabricant.

DE LA COMBUSTION.

Des machines dont on fait usage pour la déterminer ou l'accélérer.

Le combustible à l'aide duquel on fond les minerais de fer ne produit de la chaleur qu'en se combinant avec l'oxygène de l'air atmosphérique : donc la première condition pour élever, dans les fourneaux, la température au degré nécessaire, c'est d'y faire parvenir de l'air, sans lequel la combustion n'aurait pas lieu. Nous diviserons en six sections ce que nous devons dire sur cette matière. Dans la première nous aurons à examiner quel effet produit l'air atmosphérique,

quelle quantité on en doit fournir dans chaque espèce de fourneau, et quelle vitesse on doit lui imprimer pour obtenir le meilleur effet; dans la seconde, nous nous occuperons de la forme et de la construction des diverses machines que l'on emploie; dans la troisième, on indiquera comment on peut parvenir à donner à l'air, lorsqu'il arrive dans le fourneau, une vitesse uniforme et constante : il y aura par conséquent à parler de ce qu'on appelle les *régulateurs*. Pour pouvoir estimer la quantité d'air lancée dans les fourneaux, il y a à calculer les produits des machines soufflantes : dans la quatrième section, nous ferons donc connaître la manière d'y parvenir. Dans la cinquième, nous décrirons les mouvements de ces machines, les forces motrices à l'aide desquelles on les fait mouvoir, et les différents mécanismes qu'on leur applique; enfin, dans la sixième section, on comparera entre elles les diverses machines en usage; on examinera les avantages et les inconvénients de toutes, pour déterminer autant que possible la préférence à donner à chacune d'elles.

De l'action de l'air atmosphérique.

La chaleur nécessaire pour fondre le minerai, et en séparer le fer cru, s'obtient par la combinaison du carbone avec de l'oxygène. Ces deux substances s'unissant donnent naissance à une troisième, que l'on nomme acide carbonique quand l'oxygène y est dans une certaine proportion, c'est-à-dire au maximum, et acide carboneux ou oxide carbonique quand il y est en moindre quantité. Les molécules de l'acide car-

bonique étant plus rapprochées qu'elles n'étaient dans leurs éléments isolés, une partie du calorique qui dilatait ceux-ci se dégage, et produit l'augmentation de température que l'on a pour but d'obtenir.

D'après une expérience faite en commun par Lavoisier et Laplace, cent parties de charbon à zéro de température se sont combinées avec deux cent soixante-une parties d'oxygène également à zéro (1); elles ont produit trois cent soixante-une parties de gaz acide carbonique, et ont dégagé une quantité de calorique qui a opéré la fusion de neuf mille neuf cent trente-sept parties de glace à zéro. Cette quantité de chaleur émise aurait pu élever de zéro à soixante degrés R. neuf mille neuf cent trente-sept parties d'eau. On voit donc, d'après cette expérience, combien est grande la quantité de chaleur qui se dégage de la combustion du charbon par l'oxygène.

Comme c'est en combinant ces deux substances que l'on obtient le calorique qui est nécessaire à la fonte des minerais, il convient de discuter les moyens que l'on emploie pour produire la température que cette fusion exige.

L'air atmosphérique qui environne le globe terrestre est généralement composé de trois substances : gaz azote, gaz oxygène et acide carbonique, dont le rapport en volume est, d'après Humboldt et Gay-Lussac (2) : : 78 : 21 : 1. Cet air contient encore de l'eau, et souvent d'autres

(1) D'après Saussure, *Annales de chimie*, n° 187, cent parties d'acide carbonique en contiendraient soixante-quatorze d'oxygène et vingt-six de carbone.

(2) *Journal de physique*, année 1805, tom 1er, pag. 129 et suivantes.

substances, dont la proportion varie selon les lieux, la température, la pression et plusieurs autres circonstances; mais on en fait ordinairement abstraction dans l'analyse de l'air, parce qu'elles ne sont qu'accidentelles, et que les chimistes n'ont pas encore trouvé de moyens assez précis ni assez exacts pour les séparer. Cependant, l'eau vaporisée dans l'air a une assez grande influence sur la quantité de chaleur produite dans la combustion, pour déranger la marche du fourneau, au point de faire arrêter le fondage, ou au moins de faire consumer une quantité de charbon beaucoup plus considérable que celle que l'on brûle lorsque l'air est sec.

La pesanteur de cent pouces cubes d'air atmosphérique, ainsi que celle des trois gaz qui le composent, si on les prend sous la pression de vingt-huit pouces de mercure, et à dix du thermomètre de Deluc, est, d'après Lavoisier,

	grains.	gram.
Air atmosphérique,	4.6005	2.4428
Gaz azote,	4.4444	2.3600
Gaz oxygène,	5.0694	2.6918
Gaz acide carbonique,	6.8985	3.6631

Espèces de gaz.	Cent pieds cubes	pèsent :	décim. cub. pès.
	grains. livres.	gram.	gram.
Air atmosphérique,	79496=8.6280=	422.11	113.15
Gaz azote,	75051=8.1435=	4077.9	116.26
Gaz oxygène,	87600=9.5051=	4652.4	135.70
Gaz acide carbonique,	119206=1.2935=	6329.8	184.66

Ainsi, dans cent pieds cubes d'air atmosphérique, pesant soixante-dix-neuf mille quatre cent

quatre-vingt-seize grains ou quatre mille deux cent vingt-un grammes, il y a vingt-un pieds cubes de gaz oxygène; pesant dix-huit mille trois cent quatre-vingt-seize grains, ou une livre quatre-vingt-dix-neuf mille six cent sept-cent-millièmes, ou mieux neuf mille sept cent soixante-neuf grammes.

Ces rapports étant connus, il paraîtrait facile d'apprécier la quantité d'air atmosphérique que l'on doit employer pour alimenter un haut fourneau dont on a déterminé d'avance la consommation en charbon, et cela en supposant que le gaz oxygène que cet air contient se combine en entier avec le charbon, pour former de l'acide carbonique; mais lorsque l'on réfléchit sur ce qui se passe dans les hauts fourneaux, on voit que ce n'est qu'avec beaucoup de difficulté qu'on pourrait résoudre ce problème si simple en apparence. Cent parties pondérables de carbone, d'après les expériences de Saussure, se combinent avec 284.6 parties d'oxygène, pour former 384.6 parties d'acide carbonique; mais 284.6 parties de gaz oxygène forment un volume de 2,994 pieds cubes, à la pression de vingt-huit pouces de mercure et à la température de dix degrés; et 2,994 pieds cubes de gaz oxygène sont contenus dans 14,258 pieds d'air atmosphérique. Aussi, pour brûler complétement une livre de charbon, et en former de l'acide carbonique, il paraîtrait qu'il ne faudrait pas moins de 14,258 pieds cubes d'air atmosphérique.

On a vu précédemment que la quantité de charbon de bois brûlé pour obtenir cent livres de fonte variait entre soixante-six et quatre cents parties; la quantité moyenne, prise entre un grand nombre d'observations, est de cent soixante-

deux : il suivrait de là que la quantité d'air atmosphérique absolument nécessaire pour former de l'acide carbonique avec le charbon employé pour obtenir cent livres de fonte devrait être entre 9410.3 et 57.032 pieds cubes; quantité moyenne, vingt-trois mille quatre-vingt-dix-huit, en négligeant le poids de 0.01 à 0.04 de cendres que le charbon contient.

La quantité de charbon de houille nécessaire pour obtenir cent parties de fonte de fer varie entre deux cents et trois cents parties; la moyenne déduite de plusieurs observations est de deux cent soixante; et, à cause de la cendre que ce charbon contient en plus grande proportion, supposons deux cent trente parties de charbon, il faudrait, pour brûler ce combustible complétement, et pour en former de l'acide carbonique, quarante-cinq mille six cent vingt-cinq parties d'air atmosphérique au moins.

La quantité d'air atmosphérique nécessaire pour alimenter un haut fourneau pendant vingt-quatre heures doit varier avec la quantité de l'une ou de l'autre espèce de charbon que l'on y brûle, et cette quantité de charbon doit varier aussi avec celle de la fonte que l'on obtient.

Les hauts fourneaux alimentés avec du charbon de bois coulent, en vingt-quatre heures, de vingt à quarante quintaux de fonte: ils devraient donc consumer entre quatre cent soixante-un mille cinq cent quatre-vingt-douze et neuf cent vingt-trois mille neuf cent dix-huit pieds cubes d'air, si tout était employé à produire de l'acide carbonique. Supposons le produit moyen de trente-cinq quintaux de fonte par jour: la consommation d'air atmosphérique (si tout l'oxygène était employé à former de l'acide carboni-

que, comme on le suppose) serait de huit cent huit mille quatre cent vingt-huit pieds cubes, donc trente-trois mille six cent quatre-vingt-quatre pieds cubes par heure et cinq cent soixante-un par minute. On ne peut compter ordinairement que sur l'emploi de quatre cents pieds cubes d'air par minute dans un fourneau qui coule de trente-cinq à trente-six quintaux de fonte en vingt-quatre heures : d'où il suit que les 0.7 du charbon employé seraient combinés avec le gaz oxygène pour former de l'acide carbonique, et que les 0.3 restants seraient employés 1° à désoxider le minerai ; 2° à se combiner avec le fer pour former le carbure que l'on trouve dans la fonte ; 3° à se combiner avec l'acide carbonique, l'azote, l'hydrogène, pour former des gaz carbonés ; 4° à divers objets qui seront examinés par la suite.

Les 0.3 de carbone non employés à la formation d'acide carbonique sont beaucoup plus que suffisants pour enlever l'oxygène de l'oxide, et pour former le carbure de fer que la fonte retient.

En effet, un fourneau qui produit par jour trente-cinq quintaux de fonte, et qui consume cinquante-six quintaux soixante-dix livres de charbon, quantité moyenne, ne reçoit que cinq cent soixante-seize mille pieds cubes d'air atmosphérique, contenant cent vingt mille neuf cent soixante pieds cubes d'oxygène, pesant cent quatorze quintaux quatre-vingt-dix-sept livres.

En supposant le fer oxidé au maximum dans le minerai, c'est-à-dire à quarante-cinq d'oxygène pour cent de fer, ce serait, pour trente-cinq quintaux de fonte, quinze quintaux soixante-quinze livres d'oxygène combiné, lesquels auraient brûlé cinq quintaux trente-trois livres de

charbon. En supposant que la fonte en retienne 0.04 de son poids, ce qui est la proportion que l'on trouve dans la fonte grise, ce serait cent quarante livres de plus: ainsi le minerai n'aurait absorbé que six quintaux quatre-vingt-treize livres de charbon. Portons à dix quintaux cette quantité, à cause du poussier vaporisé : il resterait quatre mille six cent soixante-dix livres de charbon qui se seraient combinées avec l'oxygène de l'air atmosphérique. Mais, d'après le rapport établi par Saussure, vingt-six parties de carbone prennent soixante-quatorze d'oxygène: ainsi, les quatre mille six cent soixante-dix livres de charbon en auraient exigé treize mille deux cent quatre-vingt-onze, et il n'en est arrivé que dix mille cent soixante-six. Cette quantité est donc insuffisante pour réduire tout le carbone à l'état d'acide carbonique. Cependant tout le charbon a été consumé: comment cela s'est-il opéré ?

On a vu précédemment que le charbon contenait de l'eau, qui, d'après Gay-Lussac et Humboldt (*Journal de physique,* année 1805, t. 1er), est composée de huit mille sept cent quarante-une parties d'oxygène sur mille deux cent cinquante-neuf d'hydrogène. On sait encore, d'après les expériences de Cruickshank, Berthollet, Hassenfratz, Clément-Désormes, Guyton, etc., que l'oxygène peut se combiner avec le carbone en deux proportions différentes; qu'il produit deux composés distincts: l'un d'acide carbonique, contenant 0.74 d'oxygène; le second, d'oxide de carbone, contenant 0.48 de ce gaz ; enfin on sait, de plus, que le gaz hydrogène se combine avec le carbone pour former du gaz hydrogène plus ou moins carboné. De là il est aisé de se rendre compte de la grande quantité de carbone em-

ployée, en la comparant à la quantité d'oxygène contenue dans l'air atmosphérique lancé dans les fourneaux : l'air, en y entrant, se combine avec du carbone, et forme d'abord de l'acide carbonique; cet acide, en s'élevant, traverse des charbons incandescents; il se combine avec eux, et forme de l'oxide de carbone, qui se dégage.

Aussitôt que les charbons sont dans le haut fourneau, ils s'échauffent; l'eau qu'ils contiennent se divise en deux parties; l'une se vaporise et l'autre se décompose; l'oxygène de l'eau se combine avec du carbone, forme de l'acide carbonique, et peut-être même de l'oxide de carbone; l'hydrogène, partie constituante de ce liquide décomposé, se combine aussi avec du carbone, et produit de l'hydrogène carboné. Ces deux nouveaux composés (l'oxide de carbone et l'hydrogène carboné), recevant le contact de l'air en sortant du haut fourneau, se combinent avec son oxygène, et donnent lieu à cette belle flamme bleue que l'on voit briller au-dessus du gueulard.

On pourrait ajouter que l'azote échauffé dans les fourneaux se combine également avec une portion de carbone en traversant la masse du combustible embrasé qui remplit leur capacité intérieure; et qu'il se produit un *gaz azotique carbonisé* qui brûle également sur le gueulard; mais cet effet est moins certain que l'autre.

Si maintenant on supposait que l'oxygène de l'air atmosphérique qui pénètre dans le fourneau fût entièrement transformé en oxide de carbone (ce qui doit arriver en plusieurs circonstances), les quatre mille six cent soixante-dix livres de charbon, à raison de quarante-huit d'oxygène pour cinquante-deux de carbone, n'exigeraient que quatre mille trois cent onze parties d'oxygène:

conséquemment il y aurait environ deux fois plus d'air que le combustible n'en emploierait ; mais, il en faut convenir, cette quantité d'air que l'on dit être lancée dans les hauts fourneaux n'y arrive pas entièrement. Car 1° l'on porte cette quantité (par la méthode à l'aide de laquelle on la déduit) (1) beaucoup plus haut qu'elle ne l'est réellement ; 2° parce que plusieurs machines soufflantes sont assez imparfaites pour donner issue à l'air qu'elles reçoivent, par d'autres ouvertures que par la buse ; 3° parce que tout l'air qui sort par cette buse n'entre pas dans le fourneau, et qu'une grande partie de celui qui frappe les faces ou les parois de la tuyère est réfléchi à l'extérieur.

Quant aux fourneaux alimentés avec du charbon de houille, ils paraissent consumer une quantité d'air plus considérable proportionnellement au carbone qu'ils brûlent. Cette différence tient probablement à la plus grande dureté, à la plus grande compacité du charbon de houille, qui s'oppose à ce que l'acide carbonique formé puisse s'emparer facilement d'une portion de carbone pour former de l'oxide de carbone, et qui ne permet pas que celui-ci se combine en aussi grande quantité avec les gaz hydrogène et azote. Les observations faites sur les quantités d'air lancées dans les hauts fourneaux, relativement à celle du charbon brûlé, présentent des différences assez considérables pour fixer l'attention des métallurgistes.

(1) Pour cette appréciation, l'on suppose qu'à chaque fois il se dégage une masse d'air égale à la différence du volume du vide intérieur (occasioné par la dilatation) au volume du vide extérieur, resté après la compression : on verra que dans les soufflets ordinaires cette quantité est beaucoup moins grande.

TABLEAU

DES QUANTITES D'AIR EMPLOYÉES PAR RAPPORT AU CHARBON BRULÉ, ET A LA QUANTITÉ DE FONTE OBTENUE.

(EXTRAIT DES OBSERVATIONS DE MARCHER.)

LIEUX DE SITUATION DES FOURNEAUX.		proportion de charbon par 100 parties de fonte.	quintaux de fonte par 24 heures.	livres de charbon.	pieds cubes d'air atmosphérique.	livres d'oxygène contenues.	oxygène par 100 p. de charbon	hauteur des fourneaux.
1 CARINTHIE.	De la famille Rauscher.	138	51	7038	576000	11503	163	18
2	Idem.	136	52	7072	720000	14379	203	18
3	Idem.	128	56	7168	720000	14379	200	18
4	Idem.	117	63	1371	864000	17254	234	20
9	Idem.	130	86	11180	936000	18692	167	29
10	— Saint-Léonard.	260	31	8060	792000	15816	196	20
14	— Sainte-Gertrude.	183	48	8784	864000	17254	285	23
20	Idem.	156	57	8892	1008000	20130	226	
21	— Huttenberg.	184	61	11224	1008000	20130	179	22
22	— Mossinz.	150	79	11850	1008000	20130	170	27
25	Feystritz.	99	80	7920	2160000	43136	544	28
26 STYRIE.	Neuberg.	221	32	7072	576000	11503	203	16
30	Gollrath.	214	34	7276	792000	15816	217	21
34	Vordernberg.	148	50	7400	648000	12941	175	17
36	Idem.	133	60	7980	1008000	20130	252	19
37	Idem.	117	70	8190	936000	18692	228	19
38	Eisenertz.	183	80	14640	1224000	24444	167	19

40		Turach.	269	26	6994	806400	16103	230	
41		Lichtenstein.	160	30	4800	1152000	23006	479	24
43	BOHÊME.	Horzowitz.	188	40	7520	1296000	25882	344	32
55	HESSE.	Schmalkalden.	168	35	5880	648000	12941	220	20
56	SIBÉRIE.	Petrosowadskoï.	339	27	9153	720000	14379	157	17
57		Tomskoï.	370	33	12210	1440000	28757	235	21
58		Kameskoï.	167	89	14863	2160000	43136	290	26
60		Kuschwinskoï.	321	62	19902	2736000	54639	274	23
65		Petrokamenskoï.	160	215	18400	1944000	38823	206	35
68		Neviamskoï.	115	404	46460	2448000	48888	105	41
		FOURNEAUX A DEUX TUYÈRES.							
69	CARINTHIE.	Treybach.	123	112	13776	2592000	51764	375	35
70		Idem.	117	125	14625	2880000	57515	393	
71		Idem.	104	136	14144	3600000	71894	508	
72	STYRIE.	Vordernberg.	133	95	12635	1440000	28757	227	20
73		Idem.	107	80	8560	1152000	23006	269	20
74		Eisen-Ertz.	182	110	20020	1440000	28757	143	30
77	BASSE-HONGRIE.	Mitter-Walde.	202	64	12928	1728000	34509	266	30
		STUCK-OFFEN.							
78	CARINTHIE.	Dans le Loeling.	222	18	3996	345600	69018	173	12
79	STYRIE.	Eisen-Ertz.	200	32	6400	345600	69018	108	12
80	CARNIOLE.	Feistritz.	182	16	2912	288000	57515	198	
81		Près Althammer.	188	16	3008	288000	57515	191	
85		Kropp.	156	22	3432	345600	69018	202	
87	CROATIE.	Seigneurie de Brod.	325	11	3575	504000	10065	281	12
89	BASSE-HONGRIE.	Teisholz.	287	6	1122	576000	11503	668	21
90	HESSE.	Schmalkalden.	461	13	5993	324000	64707	108	16

Si l'on peut s'en rapporter aux résultats ci-dessus annoncés par Marcher, il s'ensuivra que, pour cent parties de charbon de bois consumées dans les hauts fourneaux pour fondre le minerai de fer, les proportions d'oxygène à employer varieront entre cent cinq pour le fourneau de quarante-un pieds de haut de Newiamskoï, en Sibérie, et six cent soixante-huit pour les stuck-offen de douze pieds de Teisholz, dans la Basse-Hongrie. En supposant que 0,10 du charbon fussent employés à désoxider le métal et à former le carbure de fer (ce qui est assez plausible), il s'ensuivrait encore que les quantités d'oxygène, pour brûler quatre-vingt-dix parties de charbon de bois varieraient entre cent cinq et six cent soixante-huit. Il faut, pour former de l'oxide de carbone, avec quatre-vingt-dix parties de carbone, quatre-vingt-trois d'oxygène, et pour produire de l'acide carbonique, deux cent quatre-vingt-onze parties. Ainsi, dans le fourneau de Newiamskoï il y a plus d'oxygène qu'il n'en faut pour changer le charbon en oxide de carbone, et dans le stuck-offen de Teisholz il y a plus d'oxygène qu'il n'en faut pour transformer le charbon en acide carbonique. La moyenne de la quantité d'oxygène fournie dans quarante-deux fourneaux est de deux cent quarante-trois parties pondérables par cent de charbon, donc moins qu'il ne faut pour le convertir en acide carbonique.

A l'égard des quantités d'air lancées dans les hauts fourneaux qui fondent les minerais de fer avec du charbon de houille, ou coke, on a moins de données, au moins en France : on ne connaît guère que ce qui a été observé à cet égard au fourneau de Gleiwitz (*voy*. Journal des Mines, tom. 14), et au Creusot pendant le séjour qu'y

ont fait les commissaires envoyés par le gouvernement pendant la révolution. A cette époque on coulait au Creusot cinquante quintaux de fonte en vingt-quatre heures; on consumait cent cinquante quintaux de charbon de houille, et on lançait dans le fourneau, selon le mode d'évaluation ordinaire, un million huit cent mille pieds cubes d'air atmosphérique, qui correspondent à trente-six mille neuf cent cinquante-sept pieds cubes de gaz oxygène, ce qui fait deux cent quarante-six parties d'oxygène par cent de charbon de houille. Mais comme ce charbon tenait entre vingt et trente parties de cendres par cent, supposons 0.25, il s'ensuivrait que cent parties de charbon pur auraient consumé trois cent vingt-huit de gaz oxygène.

Le fourneau de Gleiwitz coulait quarante-quatre quintaux de fonte par vingt-quatre heures; il brûlait dix mille six cent soixante-douze parties de charbon de houille; il recevait un million quatre cent quarante mille pieds cubes d'air atmosphérique, dans lesquels sont contenus vingt-huit mille sept cent cinquante-sept pieds cubes de gaz oxygène : c'est deux cent soixante-neuf parties par cent de charbon. Et en supposant dans le combustible 0.25 de cendre, comme dans celui du Creusot, la proportion d'oxygène employée sera de trois cent cinquante-neuf par cent de carbone pur.

La moyenne d'oxygène est de trois cent quarante parties environ, donc trois dix-septièmes plus grande que celle que l'on consume pour le charbon de bois. Comme il ne faut que deux mille huit cent quarante-six parties d'oxygène pour produire de l'acide carbonique avec cent de carbone, il semblerait donc que tout le carbone a

été changé en acide carbonique ; mais tout porte cependant à croire qu'il y a eu aussi de l'oxide de carbone formé.

On a vu, par ce qui précède, que la quantité d'air employée dans chaque fourneau varie, relativement au mode de travail, entre cent cinq et six cent soixante-huit parties d'oxygène pour quatre-vingt-dix de carbone, ou entre cent-dix-sept et sept cent quarante-deux parties de ce combustible; que, dans le premier cas, une grande partie de cet oxygène devait être employée à produire de l'oxide de carbone; et dans le second, qu'il devait s'échapper encore de l'oxygène non combiné avec du carbone. Ces deux manières différentes dont l'air se comporte peuvent dépendre de la force, de la vitesse avec laquelle ce fluide élastique est lancé dans le haut fourneau, et de la dureté ou de la difficulté que le charbon présente dans sa combustion.

Si l'air est lancé dans le fourneau avec une grande force, qu'il ait une grande vélocité en entrant par la tuyère, il passera rapidement dans les vides que les charbons embrasés laissent entre eux; sa grande vitesse s'opposant à sa combinaison, il montera promptement au gueulard, et pourra sortir sans que tout son oxygène ait eu le temps de se combiner avec le charbon.

Mais si l'air, en entrant, n'a qu'un faible mouvement, il s'élèvera avec lenteur; il restera long-temps en contact avec les charbons, il s'y combinera facilement, et la majeure partie de l'oxygène formera de l'acide carbonique. En passant à travers les premières couches et en s'élevant, cet acide se combinera avec de nouveaux charbons embrasés, se surcomposera, et il en résultera de l'oxide de carbone.

Enfin, si l'air entre avec une vitesse égale dans les fourneaux où l'on emploie des charbons légers ou durs, et dont la combustion est facile ou lente, il se combinera dans son passage à des proportions différentes de carbone.

On voit, d'après les résultats que donne l'expérience, d'après les différents degrés de combustibilité du charbon, et d'après les diverses hauteurs des fourneaux, que, pour sortir sous un état constant de combinaison, l'air lancé doit avoir des vitesses d'autant plus grandes que le charbon brûle plus facilement, et d'autant moindres qu'il est plus dense; on voit encore que la vitesse ou la vélocité de ce fluide doit être proportionnelle à la hauteur du fourneau. Lorsque l'air qui le traverse a une vitesse donnée, la durée de son passage contribue à produire des fontes grises ou blanches, et à charger plus ou moins de fer les scories.

L'oxygène, pouvant parvenir à des tranches élevées du fourneau, sans cependant monter jusqu'au gueulard, détermine, par sa combinaison dans toutes les tranches successives, une température graduelle et lente, depuis la tuyère jusqu'à l'ouverture supérieure. Le minerai, en contact avec des charbons embrasés, descend alors lentement et uniformément; il abandonne d'abord son oxygène, puis il se combine avec le carbone. Il arrive ainsi très carboné au foyer, où il se liquéfie, et il se produit alors une fonte grise uniforme; mais lorsque l'oxygène est épuisé dans les tranches inférieures seulement, cet épuisement occasione trois effets différents, qui contribuent à produire une moins grande quantité de fonte et à la rendre défectueuse : 1° la diminution de la température est rapide, à partir de l'*ouvrage*,

où elle est très grande, et quoique le minerai descende pendant un long espace, en restant en contact avec le charbon, il arrive cependant qu'il ne peut se combiner avec ce combustible, parce que la température n'est pas assez élevée pour que la combinaison puisse avoir lieu; 2° la combustion rapide qui se fait vis-à-vis la tuyère et dans l'*ouvrage* y occasione de grands vides, qui sont remplis tumultueusement par le charbon peu échauffé, et par le minerai peu désoxidé, qui tombent des parties supérieures; l'oxide et sa gangue sont aussitôt élevés à une haute température; ils se fondent avant d'avoir subi les préparations qu'une température graduée leur aurait données; et comme cette température est plus élevée dans l'ouvrage qu'elle ne l'aurait été s'il s'y était moins combiné d'oxygène, les scories y acquièrent une plus grande fluidité, et le minerai est fondu plus complétement; 3° la fonte, en tombant, goutte à goutte, dans une masse d'air très oxygéné et dont le mouvement est lent, y brûle une partie de son carbone (s'il s'est formé du carbure de fer avant son arrivée devant la tuyère), ou bien il s'y forme du nouvel oxide de fer (si le métal ne contient pas de carbone qui puisse, en se combinant avec l'oxygène, empêcher son action sur le métal).

La matière qui tombe dans le creuset est donc, d'après ces résultats, de la fonte oxidée blanche, ou un mélange de fer oxidulé et de fer impur, par conséquent de la fonte recouverte de scories lourdes, qui contiennent encore une grande proportion de métal, car les scories très liquides ont beaucoup d'affinité pour l'oxide de fer, et la fonte qui tombe dans le fourneau est plus oxidée qu'elle ne le serait dans un bon travail.

Dans la plupart des fourneaux, et particulièrement dans ceux qui fondent les minerais de fer avec le charbon de houille ou coke, il se forme souvent, vis-à-vis la tuyère, une espèce de tube noir dans la largeur du fourneau, probablement par le refroidissement des matières en fusion. En Angleterre, quand on aperçoit ce tube, on diminue la compression ou la vélocité de l'air; ce tube brûle alors, il reverbère et lance de tous côtés des jets d'étincelles, il s'écroule, et ses débris sont emportés dans toutes les directions par le vent de la tuyère; quelquefois des masses de ce fer imparfait s'enflamment dans l'air et repassent à l'état d'oxide; enfin la tuyère paraît s'enflammer, et tout l'intérieur devient d'une blancheur extraordinaire; la décomposition de l'air est soudainement effectuée dès qu'il passe sur la masse ignée; le fer oxidé, qui est ainsi exposé à l'oxygène avec le fer et le carbone, produit cette chaleur étonnante, actuellement visible, et qui avait lieu auparavant dans le fourneau, mais à une plus grande hauteur.

Il résulte de tous ces faits que non seulement la quantité d'air qu'il faut lancer dans un fourneau doit dépendre de la quantité de charbon que l'on se propose de brûler, mais qu'il faut encore que sa vitesse soit modifiée, relativement à la hauteur du fourneau et à la dureté du charbon, de manière à produire la fonte la meilleure avec la plus grande économie possible dans le combustible.

DES MACHINES SOUFFLANTES.

On appelle *machines soufflantes* celles qui sont

destinées à recueillir des masses d'air, à les réunir dans des réservoirs, d'où elles sont ensuite lancées dans les fourneaux.

Les machines soufflantes peuvent être divisées en deux classes : dans les unes, l'air est introduit par le secours de l'eau, et dans les autres, le fluide élastique est introduit par une diminution dans la pression intérieure du réservoir qui le contient : les premières sont connues sous le nom de *trompes*, et les secondes, sous celui de *soufflets*, de *caisses à air*, de *pompes à air*, etc.

Des machines dans lesquelles l'air est introduit par le secours de l'eau.

Toutes les fois que l'air et l'eau sont en contact, ces deux fluides se combinent ensemble : l'air devient liquide dans l'eau, et celle-ci devient fluide élastique dans l'air ; mais ces deux corps sont assez faiblement unis pour qu'on puisse les séparer, jusqu'à un certain point, par des moyens purement mécaniques.

On obtient une très grande partie de l'air contenu dans l'eau en plaçant ce liquide dans le vide, ou autrement, en diminuant la pression que l'atmosphère exerce sur lui. Au contraire, on favorise la combinaison de l'air avec l'eau en augmentant la force compressive du premier fluide sur la surface du second.

Pour obtenir en grand l'air qui était mêlé ou combiné avec l'eau, il suffit de faire entrer un rapide courant d'eau saturée d'air dans un espace fermé. Ce liquide, en jaillissant contre un obstacle, laisse dégager une portion du fluide élastique qu'il contient, et celui-ci peut s'échapper par une issue

pratiquée dans cet espace au-dessus de la surface de l'eau. Le père Schotte indique dans son hydraulique, en parlant des orgues, une machine soufflante avec laquelle on peut obtenir un jet d'air continu par le moyen d'un courant d'eau très peu incliné.

Les machines soufflantes auxquelles on a donné le nom de *trompes*, et dont on fait ordinairement usage, sont composées d'un long tuyau vertical qui communique dans sa partie supérieure à un courant d'eau, et dans sa partie inférieure à une caisse. L'ouverture supérieure du tuyau doit être disposée de manière que l'eau qui y entre soit mélangée d'air, afin que celui-ci, entraîné par le liquide, tombe avec lui dans la caisse où ces deux fluides doivent, à cause de leur différence de densité, se séparer et s'échapper par deux sorties différentes. On doit pratiquer à cet effet une ou plusieurs ouvertures dans la partie inférieure de la caisse, pour donner issue à l'eau, plus pesante, et une autre à sa partie supérieure, pour donner issue à l'air, plus léger.

Il y a plusieurs manières de déterminer l'eau à entraîner avec elle de l'air dans l'ouverture supérieure.

Mariotte décrit une trompe dans laquelle l'ouverture supérieure a la forme d'un entonnoir. « On a, dit-il, un tuyau de bois ou de fer-blanc, « de quatorze à quinze pieds de haut et d'un « pied de diamètre, qui est soudé dans une mé- « diocre cuve renversée, dont le bas est posé sur « un terrain, en sorte que la quantité d'eau qui y « tombe, quelque petite qu'elle soit, ferme les « ouvertures du fond de la cuve, et l'air n'y peut « plus passer; on laisse au haut du tuyau une ou- « verture de trois à quatre pouces de diamètre,

« dans laquelle on met un entonnoir dont le gou-
« lot est de la même grosseur ; on y fait tomber,
« de quinze, vingt ou trente pieds de haut, de
« l'eau de quelques fontaines, dont la largeur en
« tombant doit être à peu près égale à celle de
« l'ouverture de l'entonnoir, en sorte qu'il ne
« puisse s'y amasser d'eau qu'à la hauteur de cinq
« à six pouces. Cette eau, en tombant, entraîne
« avec elle beaucoup d'air qui la suit jusque au-
« dessous de l'entonnoir, à cause de la pesanteur
« de l'eau qui continue à tomber, et de la vitesse
« de son mouvement. On met à côté de la cuve
« un tuyau qui va en se rétrécissant jusque auprès
« du fond du fourneau où le charbon doit être
« soufflé. L'air pressé et enfermé dans la cuve, ne
« pouvant sortir par en haut à cause de la chute
« impétueuse de l'eau qui occupe le trou de l'en-
« tonnoir, ni par en bas à cause de l'eau qui s'y
« amasse et qui s'élève à un pied ou deux par
« dessus les fentes qui restent entre la terre du
« fond et les douves de la cuve, cet air est con-
« traint de sortir avec une grande force par le
« bout du canal ; de manière qu'il fait le même
« effet, pour souffler le charbon, que les plus
« grands soufflets de cuir dont on se sert ailleurs. »
(*Traité du mouvement des eaux*, page 68.)

Bélidor a appris que cette espèce de trompe était employée dans la montagne de Tiburtine, près de Rome.

Dans quelques endroits où on ne peut pas faire tomber l'eau d'une assez grande hauteur pour entraîner de l'air avec elle, on la fait arriver par un large canal dans l'entonnoir, dont l'ouverture est tellement large qu'elle ne peut être remplie. Le diamètre du tuyau doit être tel que l'eau s'élève toujours dans l'entonnoir à quelques pouces

au-dessus de son ouverture, pour pouvoir faire écouler celle qui arrive. Par ce moyen, l'eau, entrant dans l'entonnoir avec une vélocité acquise par son mouvement dans le canal, chasse de l'air devant elle, et forme, dans la capacité de l'entonnoir, un tourbillon qui entraîne avec lui de nouvel air, et le fait passer dans le tuyau, de la trompe, d'où il est entraîné avec l'eau dans sa chute.

Dans les Pyrénées, l'eau entre dans le tuyau par une espèce d'entonnoir en forme de pyramide; mais celui-ci étant toujours plein, l'eau, n'y ayant aucun de ces mouvements qui lui permettent d'entraîner de l'air avec elle, arrive dans le tuyau en ne contenant qu'une très petite quantité de ce fluide élastique. Pour fournir au liquide qui court dans le canal assez d'air pour que la trompe puisse être employée comme machine soufflante, on pratique aux deux côtés de l'entonnoir par lesquels l'eau arrive dans le tuyau deux autres *trémies* dont les ouvertures s'élèvent au-dessus du niveau de l'eau. On donne à ces ouvertures le nom de *trompilles*. C'est par ces ouvertures que l'air arrive dans l'espace vide que l'eau forme dans le tuyau en y entrant; et cette portion d'air, qui touche immédiatement le courant d'eau, est entraînée avec lui, pour être ensuite précipitée dans le réservoir, d'où elle s'échappe pour aller entretenir la combustion dans les lieux où elle est dirigée.

Dans les Alpes, les trompes ont aussi un long entonnoir placé à leur ouverture supérieure, par lequel l'eau entre, comme dans ceux des Pyrénées, sans former de tourbillons: aussi place-t-on à l'extrémité de l'entonnoir, dans l'endroit où la veine fluide se contracte en entrant dans le tuyau,

des ouvertures auxquelles on a donné le nom de *trompillons*, et par lesquelles l'air arrive pour être entraîné par l'eau dans sa marche.

Il suit de cet examen qu'il existe quatre sortes de machines soufflantes dans lesquelles l'air est dégagé de l'eau qui l'entraîne : 1° celle du père Schotte, 2° celle de Mariotte, 3° celle qui est en usage dans les Pyrénées, 4° celle que l'on emploie dans les Alpes ; mais de ces quatre sortes de machines, qui peuvent être employées selon les circonstances dans lesquelles on se trouve, les deux dernières sont les seules dont on ait généralement adopté l'usage.

Dans un grand nombre de trompes, et particulièrement dans celles des Pyrénées, on ne fait usage que des trompilles supérieures pour attirer l'air que l'on veut accumuler dans la cuve. Dans plusieurs autres, telles que celles de l'Isère, on place dans la longueur du tuyau plusieurs autres ouvertures pour faciliter l'entrée de l'air et y en accumuler une plus grande quantité.

La longueur des tuyaux varie en raison de la hauteur de la chute d'eau que l'on peut se procurer : elle est ordinairement entre huit et dix-huit pieds. Le vide intérieur est circulaire en Italie et dans les Alpes ; il est carré dans les Pyrénées. Dans les premiers de ces lieux, les tuyaux sont formés de deux arbres joints ensemble, arrondis extérieurement et intérieurement. Dans les Pyrénées ils sont formés de quatre planches dressées et fortement clouées l'une contre l'autre. Le diamètre des cercles intérieurs et les côtés des prismes quadrangulaires varient entre six et douze pouces.

Plusieurs discussions contradictoires ont eu lieu sur l'effet des trompilles et des ouvertures latéra-

les : les uns prétendaient qu'elles augmentaient la quantité d'air accumulée dans la caisse, les autres au contraire qu'elles la diminuaient. M. Lawis, en ne considérant que l'effet des trompillons ou des ouvertures qui aboutissent à l'étranglement, a trouvé qu'ils diminuaient la quantité d'air qui arrive dans la caisse, lorsque l'eau, avant de tomber dans l'entonnoir, a déjà entraîné assez d'air avec elle, comme cela a lieu dans la trompe décrite par Mariotte, et dans celle où l'eau tourbillonne dans l'entonnoir; mais aussi qu'elles favorisaient l'entrée de l'air, et qu'elles augmentaient son volume, lorsque l'eau parvenait dans l'entonnoir sans avoir entraîné une quantité sensible d'air avec elle. MM. les ingénieurs en chef des mines Beaunier et Gallois ont conclu de plusieurs expériences faites sur les trompes de la fonderie de Poullaouen que, quel que fût le nombre des ouvertures faites à l'étranglement du tuyau, il n'y en avait jamais qu'une quantité déterminée qui pût procurer la masse d'air convenable; mais leurs expériences n'ont été faites que sur quatre ouvertures seulement. Ils ont vu la pression de l'air augmenter du poids d'une colonne d'eau de 9 à 23 pouces, en ne débouchant qu'une seule ouverture; l'air sortant ensuite par le même orifice a augmenté sa pression de 23 à 25 pouces, en débouchant un second trompillon; enfin, la pression a augmenté de 25 à 26 pouces en en débouchant un troisième : ils n'ont plus aperçu de changement sensible dans la pression, en en débouchant un quatrième. Comme ces expériences n'ont pas été poussées plus loin, on ne peut pas rigoureusement en conclure que la quantité d'air n'aurait pas été diminuée si l'on eût débouché un plus

Digitized by Google

grand nombre d'ouvertures. Les forgerons des Pyrénées sont dans la persuasion que les trompillons dont l'ouverture inférieure est trop grande contribuent à faire diminuer la quantité d'air qu'on aurait dû obtenir. (*Voyez* Journal des mines, tom. 16.)

Les trompes, ces machines soufflantes si simples, si extraordinaires et si ingénieuses, furent, d'après Grignon, inventées en Italie vers l'an 1640.

Des machines soufflantes dans lesquelles l'air est introduit par une diminution de la pression intérieure.

Ces machines sont, le plus ordinairement, des caisses de formes variées dans lesquelles l'un des plans a la propriété de se mouvoir, et d'agrandir ou de diminuer, par ce mouvement, le volume du vide intérieur.

Elles ont toujours deux ouvertures : l'une par où l'air entre, l'autre par où il sort. La première est recouverte d'un plan mobile que l'on appelle *soupape;* il se meut le plus souvent à l'aide d'une charnière, et dans ce cas on l'a nommé *soupape à clapet;* quelquefois, mais rarement, c'est un segment de cône qui remplit exactement un espace de même forme et de même dimension. On donne à ces soupapes le nom d'*âme*, parce que, en effet, c'est par leur mouvement que l'air est aspiré ou retenu dans la caisse intérieure. La seconde ouverture, celle par laquelle sort l'air, est absolument libre. Un tuyau conique de tôle ou de cuivre, nommé *buse*, est fixé à une des extrémités des caisses. C'est par cet endroit que l'air est lancé dans les fourneaux. Dans plusieurs de ces machines l'ouverture de la buse est libre;

mais, comme au moment de l'aspiration il peut y entrer de l'air et quelquefois même des corps embrasés capables de mettre le feu à la machine, il est d'usage dans plusieurs usines de placer, soit dans l'intérieur, soit à l'extérieur de la buse, une soupape qui permette à l'air de sortir, et qui s'oppose en même temps à ce qu'il en rentre, ni aucun autre corps.

Lorsque le diaphragme mobile de la machine se meut pour agrandir le volume intérieur, l'air qui y est contenu se raréfie. L'effort qu'il exerce sur la soupape, sur l'âme, étant moins grand que celui de l'air extérieur plus dense, cet air soulève la soupape et pénètre dans le nouvel espace pour le remplir. En donnant au diaphragme mobile un mouvement opposé, c'est-à-dire en le rapprochant du plan fixe pour faire diminuer le volume de la caisse, alors l'air intérieur, qui se trouve plus comprimé que celui de l'extérieur, fait un effort sur la soupape de la buse, et enfin s'échappe par son ouverture.

Dans les machines soufflantes, la substance qui sépare le diaphragme mobile du plan fixe est flexible ou inflexible, ce qui fait qu'on peut diviser ces sortes de machines relativement à l'une ou à l'autre de ces deux propriétés : de là deux espèces de machines soufflantes dans lesquelles l'air peut être introduit par une diminution dans la pression intérieure, les unes à *parois flexibles*, et les autres à *parois inflexibles*.

Les premières ont pour type un instrument trop connu pour qu'il soit besoin de le décrire ici : c'est le soufflet de forge ordinaire ; leur forme peut varier, mais le principe de construction reste le même.

Les soufflets à parois flexibles dont on se servait

anciennement n'avaient qu'une âme et deux diaphragmes. Ces sortes de machines avaient l'inconvénient, lorsqu'on les employait isolément pour souffler et activer le feu des fourneaux, de produire un jet d'air alternatif qui occasionait souvent des variations dans la température, et qui nuisait à la fusion des minerais. Pour régulariser le courant d'air, on a réuni à chaque fourneau deux soufflets dont les mouvements sont tellement ordonnés que le second lance de l'air lorsque le soufflet du premier cesse et qu'il commence à en aspirer de nouveau, et cela successivement. Pour éviter la multiplicité des machines soufflantes, on a imaginé de construire des soufflets à trois diaphragmes, afin de leur faire produire un jet continu.

Les soufflets de cuir exigeant de grandes réparations, souvent renouvelées, on les a remplacés par des machines à parois inflexibles.

Celles-ci sont composées de deux caisses qui se meuvent l'une dans l'autre, ou d'un diaphragme qui se meut dans une caisse.

Le mouvement de la caisse, ou du piston, dans une autre caisse, doit être produit de manière que l'air dilaté ou comprimé dans la caisse qui le reçoit ne puisse entrer ni sortir par d'autre ouverture que par la soupape et la buse.

Pour atteindre ce but, on construit deux sortes de machines soufflantes. Dans les unes, le mouvement s'exécute dans l'eau, et dans les autres, les surfaces frottées joignent si exactement, par le moyen de ressorts, que l'air ne peut trouver aucune issue entre elles. Nous dirons un mot des unes et des autres.

Celles qui sont mues dans l'eau sont ordinai-

rement composées de deux caisses : la première, qui est extérieure et pleine d'eau, est fixe ; la seconde, qui est intérieure, est vide et mobile. Dans la première sont deux tuyaux : l'un est recouvert d'une soupape pour donner issue à l'air inspiré ; l'autre est entièrement ouvert pour donner passage à l'air expiré. La seconde caisse est suspendue à un mécanisme qui l'élève et l'abaisse : en l'élevant, l'air qu'elle contient se raréfie, et l'air extérieur soulève la soupape du tuyau pour remplir le vide ; en l'abaissant, l'air intérieur est comprimé, il ferme la soupape, et s'échappe par le porte-vent.

Quoique ce moyen d'obtenir de l'air soit très simple, et qu'il ait été décrit depuis long-temps, on ne connaît encore que peu d'usines où il soit en usage.

M. John Laurie, d'Edimbourg, et récemment M. Baader, en Allemagne, ont perfectionné successivement ces sortes de machines. Nous ne parlerons pas de ces perfectionnements, d'ailleurs ingénieux, mais qui sont aujourd'hui de peu d'importance, si l'on considère l'emploi bien plus avantageux des souffleries anglaises que nous décrirons plus loin.

Quant aux *machines soufflantes à frottement*, elles sont composées d'un prisme creux dans lequel se meut un diaphragme ou une autre caisse. Le prisme doit avoir deux faces intérieures lisses et dressées, afin que la caisse ou le diaphragme qui s'y meut éprouve un frottement uniforme, qu'il joigne parfaitement avec les parois dans toute la durée de leur mouvement, et qu'il ne se forme aucun vide entre la surface frottante et la surface frottée.

La première machine soufflante à frottement

qui ait eu un grand succès en Europe est celle que l'on connaît sous le nom de *soufflets de bois*. Schlutter, dans son *Traité de la fonte des mines*, tome 2, en fixe l'invention à 1620. Il l'attribue à l'évêque de Bamberg en Bohême. Oreilly, dans ses *Annales*, ainsi que Tiémann, disent que Fannon Schmidt les perfectionna en 1626. Gartner croit qu'ils ne furent inventés qu'en 1658, par Schoelbonn, de Cobourg, en Saxe. Avant que ces soufflets ne fussent connus, on ne faisait usage dans toutes les usines que des soufflets de cuir. Ces nouvelles machines présentaient, sur les anciennes, quatre sortes d'avantages qui leur firent bientôt donner la préférence dans tous les lieux où l'on trouva des ouvriers en état de les construire. 1° Il n'en coûte pour les établir que le tiers de la dépense des premières; 2° elles durent beaucoup plus long-temps; 3° elles n'exigent pour les réparations annuelles que le cinquième des frais des autres machines; 4° avec la même quantité d'eau, elles aspirent et expirent un volume d'air plus considérable, et leur action est plus uniforme. Les auteurs qui ont écrit sur l'art des forges comparent la marche progressive du perfectionnement de ce travail, dans chaque pays, par l'époque à laquelle on y a adopté l'usage des soufflets de bois.

M. Rambourg, maître de forges très habile dans son art, fixe à 140 pieds cubes d'air par minute l'effet des soufflets de bois de Guérigny, en employant 81 pieds cubes d'eau, dont la chute est de 10 pieds d'élévation.

Lorsque les Anglais eurent appliqué le charbon de houille à la fusion des minerais de fer, ils ne tardèrent pas à faire deux observations importantes : la première, que ce charbon exigeait pour brûler plus d'air que le charbon de bois;

la seconde, que, pour fondre avec économie, en employant ce combustible minéral, il était essentiel de le renfermer dans de très grands espaces, dans de grandes cheminées; d'après quoi les deux soufflets de bois, appliqués aux fourneaux ordinaires, ne produisaient plus une quantité d'air assez considérable : il a fallu, ou multiplier ces sortes de soufflets (comme le baron Egget l'a pratiqué dans un de ses fourneaux en Carinthie), ou employer de nouvelles machines susceptibles d'aspirer une quantité d'air beaucoup plus considérable. C'est à cette nécessité, amenée par les circonstances particulières dans lesquelles les Anglais se sont trouvés, que l'on doit l'invention des cylindres et des caisses, auxquels ils ont donné particulièrement le nom de machines soufflantes (*blast engines*).

Oreilly dit, dans ses *Annales des arts et manufactures*, que les premières machines cylindriques furent employées dans les belles fonderies de Caron, en Écosse.

Ces sortes de machines sont composées d'un grand cylindre de fonte de 3 à 8 pieds de diamètre, et de 6 à 9 pieds de haut. Ces cylindres sont allésés et calibrés aussi exactement qu'il est possible. Un piston de fonte de fer se meut dans leur intérieur; il est entouré de cuirs graissés ou huilés, pour remplir exactement le contour.

Les pistons peuvent être mus de bas en haut, ou de haut en bas. Dans le premier cas, le piston a deux grandes ouvertures, sur lesquelles sont deux soupapes qui donnent l'entrée à l'air aspiré, et dans le fond supérieur du cylindre est ajustée une boîte qui recouvre une soupape qui donne issue à l'air expiré. Cette boîte communique au porte-vent qui conduit l'air expiré dans

Digitized by Google

le fourneau. Lorsque le piston se meut de haut en bas, les deux soupapes d'aspiration et d'expiration sont dans le fond inférieur du cylindre; la seconde est placée dans une caisse placée près de l'ouverture d'expiration, et de laquelle l'air est dirigé dans le porte-vent pour être conduit dans les fourneaux.

Tout porte à croire que les premières machines soufflantes qui ont eu de grandes dimensions ont été construites en fonte de fer, et que leur forme originaire est celle d'un cylindre; mais, depuis l'instant où ces machines ont été connues, chacun s'est évertué pour varier les formes de leur construction.

L'inspecteur divisionnaire des mines, Baillet, a donné, dans le *Journal des mines*, tom. 3, n° 16, une description des soufflets cylindriques dont il a observé les effets à Marche-sur-Meuse, près de Namur. Ces soufflets étaient en fonte; ils avaient 3 pieds 8 pouces de diamètre sur 30 pouces de haut; le piston qui se mouvait dans l'intérieur portait deux *clapets* pour aspirer l'air, et il était enveloppé d'une bande de cuir, afin de remplir exactement le vide. Cette machine était mue par une roue à aubes. D'après les détails donnés par cet ingénieur, ce soufflet produisait 400 pieds cubes d'air, avec 80 pieds cubes d'eau, tombant de 10 pieds de haut.

M. Huard, alors directeur des mines de Guérigny, a fait exécuter, dans les forges qu'il dirigeait dans le département de la Nièvre, des machines soufflantes en bois, dont la forme était un prisme quadrangulaire. Ces machines ont été substituées avec beaucoup d'avantage aux soufflets en bois dont on se servait auparavant. La dépense de deux de ces caisses était moitié moins de celle de

deux soufflets de bois, et leur entretien annuel les deux cinquièmes seulement; enfin, selon le rapport de cet intelligent directeur, un appareil de deux de ces caisses remplaçait deux paires de soufflets d'affinerie et deux soufflets doubles. Ces six soufflets étaient mus par trois roues, tandis qu'une seule mouvait les deux caisses : ainsi, la dépense de deux caisses n'était que le sixième de celle des soufflets qu'elles remplaçaient. Leur entretien n'était que les trois cinquièmes, et l'économie dans les cours d'eau et dans les machines hydrauliques était très grande, comparaison faite avec les soufflets de bois. Ces caisses soufflantes produisaient 425 pieds cubes d'air, avec la même quantité d'eau qui en aurait fait produire seulement 140 aux soufflets de bois.

M. Huard pensait que les machines cylindriques en fonte, semblables à celles que l'habile maître de forges Rambourg a fait exécuter dans ses forges de Tronçais, sont encore préférables aux caisses carrées; et, en effet, aujourd'hui, les caisses en bois inventées en 1797 sont généralement remplacées par des cylindres de fonte.

Les machines soufflantes sont donc exécutées en bois et en fonte. Elles peuvent l'être aussi en pierre dure, en marbre; et, dans ce cas, il est nécessaire, pour la facilité de la construction, qu'elles soient carrées. Il suffira de faire tailler cinq dalles de pierre dure, de les faire dresser et polir : quatre formeront les parois latérales, et la cinquième la pièce de fond. Les premières dalles peuvent être retenues par des bandes de fer qui les entourent, et leurs joints peuvent être fermés par d'excellent ciment ou mastic. Le fond doit être percé, pour donner issue à l'air expiré. Le piston des machines en pierre peut et doit même

être en bois, garni de cuir, pour adoucir et diminuer le frottement. Dans les pays où la pierre dure est commune, où l'on scie, travaille et polit le marbre, ces caisses carrées pourraient être exécutées facilement et à très bon marché.

Des régulateurs.

Les machines soufflantes ordinaires produisent un jet d'air alternatif. La caisse, ou le piston mobile, a deux mouvements, l'un d'aspiration et l'autre d'expiration. Pendant le premier mouvement, l'air est aspiré de toutes parts : loin donc de lancer de l'air dans le fourneau, la machine en aspire quelquefois par la buse, lorsque cette dernière n'est pas munie d'une soupape. Ce n'est que par le second mouvement (celui qui comprime l'air accumulé dans la caisse) que ce fluide élastique est chassé dans le fourneau.

Ce mouvement alternatif, produit par une seule machine, occasione dans la marche du fourneau des irrégularités que l'on distingue par les ondulations qui se font apercevoir à la surface des scories, du laitier et du fer, fondus et accumulés dans le creuset des hauts fourneaux. Les ouvriers ont donné à ces ondulations le nom de *pousse la taupe*.

Pour obvier à cet inconvénient, on accouple ces machines, et leur mouvement est ordonné de manière que l'une d'elles commence à expirer son air lorsque l'autre cesse d'en envoyer dans le fourneau. On est donc parvenu, par ce moyen, à obtenir un jet d'air continu ; mais dans cette continuité, le jet présente encore une sorte d'irrégularité, dont le travail est affecté, et il naît de là des ondulations sur ces scories, qui,

quoique moins considérables que celles qui ont lieu par l'action d'une seule machine soufflante, ne laissent pas que de nuire au bon fondage. Cette irrégularité est le résultat de la différence de compression que l'air éprouve dans la caisse pendant toute la durée de l'expiration. Il est même un instant, dans certaines usines, où les deux machines lancent de l'air simultanément, et un autre ou elles cessent d'en lancer, ce qui augmente considérablement l'irrégularité.

Oreilly, dans ses *Annales des arts et manufactures*, dit que les belles machines des fonderies de Caron, en Ecosse, étaient d'abord à deux cylindres libres, qui lançaient leur air séparément dans le haut fourneau; mais que bientôt, pour corriger l'irrégularité dans la marche du fourneau, que ces deux jets alternatifs occasionaient, on les fit communiquer à un régulateur.

Les *régulateurs* sont des réservoirs particuliers et isolés, dans lesquels on fait arriver l'air des machines soufflantes, pour être, de là, lancé dans le fourneau avec une vitesse uniforme et continue.

Ils peuvent être divisés en trois classes : 1° régulateurs à eau, 2° régulateurs à frottement, 3° régulateurs à réservoir.

Les *régulateurs à eau* sont formés d'une caisse placée dans un réservoir plein de ce liquide. Ce réservoir peut être une grande cuve de bois ou de maçonnerie, ou encore un bassin, dans lequel on a fixé, sur des madriers, une caisse de bois ou de fonte. La caisse peut aussi être mobile; mais dans ce cas elle est soulevée chaque fois qu'il entre de l'air, puis elle descend pendant qu'elle en fournit au fourneau, sans en recevoir de nouveau.

Ces réservoirs d'air ont le défaut de lancer des jets de ce fluide élastique, variables comme la

compression de l'air des caisses. Dans les premiers, c'est l'eau qui comprime l'air dans le régulateur, et la force comprimante augmente chaque fois qu'il entre un volume d'air plus considérable que celui qui sort, et elle diminue pendant qu'il sort de l'air qui n'est pas remplacé. Dans les seconds réservoirs, c'est le poids de la caisse qui comprime l'air; mais sa pesanteur varie avec l'élévation à laquelle elle se trouve. La partie qui est plongée dans l'eau diminue de poids proportionnellement au volume d'eau qu'elle déplace: d'où il suit que, plus il y a de parties de la caisse plongées dans l'eau, et plus elle est légère, et que moins elle est enfoncée dans ce liquide, et plus elle est pesante. Ainsi, les caisses mobiles plongées dans l'eau produisent aussi des variations dans la compression, et elles occasionent des différences dans la vitesse des jets d'air; mais ces variations sont beaucoup moins considérables que dans les caisses fixées. On pourrait même détruire ces inégalités dans la compression de l'air en appliquant à la caisse mobile un contrepoids, qui diminuerait sa pesanteur d'une quantité égale à celle qui est augmentée par sa sortie de l'eau.

Les *régulateurs à frottement* sont composés d'une caisse cylindrique ou carrée, dans laquelle est placé un piston, chargé d'un poids qui exerce en descendant une pression constante et uniforme. Celui qui existait il y a quelques années au Creusot, près Moncenis, département de Saône-et-Loire, était un grand cylindre de fonte isolé, communiquant à la machine soufflante par un tuyau qui animait l'air dans le cylindre. En y arrivant cet air ouvrait une soupape pour y entrer; le piston était soulevé de tout l'espace nécessaire pour l'introduction de l'air. L'air,

en entrant dans le régulateur, se divise en deux parties : l'une sort par le porte-vent, et l'autre remplit l'espace vide que l'élévation du piston a formé. Lorsqu'il n'arrive plus de nouveau fluide, la soupape est fermée par la compression de l'air intérieur, et celui-ci continue de sortir par le porte-vent avec un effort qui fait équilibre à la pression du piston.

Le piston est percé d'une ouverture recouverte d'un poids qui comprime l'air avec une force qui doit faire équilibre au maximum du ressort que l'on veut obtenir : de manière que, lorsque le piston trop soulevé est arrêté par les bords supérieurs du cylindre, l'air qui continue à entrer, augmentant encore son action, parvient à exercer sur l'ouverture un effort égal au poids de la charge ; et alors celui-ci est soulevé, et l'air s'échappe. Par ce moyen, on évite tous les dangers qu'une trop forte compression pourrait faire craindre.

L'air éprouve, par son ressort dans les régulateurs à frottement, une variation de pression plus considérable que dans les régulateurs à eau. Cette variation peut être estimée le double de l'effort que le frottement du piston occasione. En effet, lorsque l'air entre et qu'il soulève le piston, l'effort exercé est égal au poids du piston, plus le frottement qu'il faut vaincre. Lorsque l'air cesse d'entrer, et qu'il n'est plus comprimé que par le poids du piston, l'effort exercé est égal au poids du piston, moins le frottement qu'il doit vaincre en descendant. Quoi qu'il en soit cependant de cette défectuosité, ces pistons sont fréquemment employés aujourd'hui, et assez généralement préférés aux régulateurs des autres espèces, même aux caisses à eau.

On peut appliquer, dans les machines soufflantes à double effet, un régulateur simple et sans piston. Les fonds supérieur et inférieur ont chacun une soupape d'aspiration. Celle du fond supérieur se ferme par le moyen d'un contrepoids. Le piston en montant aspire l'air dans la partie inférieure, et l'expire par la partie supérieure dans le régulateur; de même, lorsque le piston baisse, l'air est aspiré dans la partie supérieure, et l'air expiré par la partie inférieure entre dans le régulateur.

En plaçant dans le cylindre même de la machine soufflante deux pistons qui se meuvent en sens contraire, on peut produire l'effet des régulateurs. Lorsque les deux pistons s'avancent l'un vers l'autre, l'air qui se trouve entre eux est chassé dans la partie supérieure; et comme l'espace vide qui s'y forme est moitié de l'espace qui séparait les deux pistons, l'air qui entre est comprimé; il sort en partie par l'ouverture du porte-vent placé dans le fond supérieur. Lorsque les deux pistons s'écartent l'un de l'autre, les soupapes du piston inférieur s'ouvrent pour permettre à l'air d'entrer dans l'espace vide qui vient de se former, et le piston supérieur, en s'élevant, comprime l'air de la partie supérieure, et le force de nouveau à sortir par le porte-vent. Ainsi ces sortes de machines produisent bien un jet continu; mais l'air éprouve dans ses mouvements des compressions différentes qui l'obligent à sortir avec plus ou moins de vitesse, ce qui doit faire préférer les régulateurs isolés et séparés des machines soufflantes.

Les *régulateurs à réservoir* sont de vastes cavités, de grands espaces fermés hermétiquement, dans lesquels l'air des machines soufflantes entre

en soulevant une soupape, tandis que l'air comprimé est lancé avec un effort constant ou du moins peu variable.

Dans les forges de Dawn, en Écosse, on voyait un de ces régulateurs : c'était une cave de 72 pieds de long sur 14 de large et 13 de haut, contenant au-delà de 13,000 pieds cubes. La machine qui entretenait ce réservoir produisait 155 pieds cubes d'air par son mouvement, donc la 84e partie environ du volume contenu dans le réservoir. L'air conservé sortait par un orifice constamment ouvert, tandis qu'il n'entrait que par intervalles par une autre ouverture ; mais la masse d'air qui entrait à chaque mouvement du piston était si petite relativement à la masse contenue dans le réservoir, que les variations dans la pression, occasionées par les intermittences, n'étaient pas susceptibles d'appréciation. (*Annales des arts et manufactures,* tom. 3.)

Il paraît, d'après les observations faites dans ces caves par M. Roebuck, que l'air qu'elles contiennent y est constamment saturé d'eau qui filtre à travers la maçonnerie : car, encore bien que la compression de l'air dans les caves de Dawn, d'après l'observation, fût jugée n'équivaloir qu'à une colonne d'eau de 5 à 6 pouces au plus, aussitôt que l'on arrêtait la machine, et qu'il n'entrait plus de nouvel air pour remplacer celui qui sortait par le porte-vent, on voyait se former un brouillard épais dans la cave ; mais à peine la machine avait-elle joué pendant quelques minutes, que l'air se rétablissait dans l'état de transparence.

Lorsque ces régulateurs peuvent être établis dans un emplacement sec, et que l'air qui y séjourne ne trouve point d'humidité avec laquelle

il puisse se combiner, ils présentent de grands avantages par leur simplicité et par leur effet.

Détermination de la quantité d'air produite par les diverses machines soufflantes.

On peut déterminer de deux manières différentes le volume de l'air que produit chaque machine soufflante : 1° en mesurant la quantité de ce fluide qui entre dans les soufflets à chaque aspiration ; 2° en calculant la vitesse que l'air acquiert en sortant par un orifice dont on connaît la surface. Chacune de ces méthodes a une application particulière, selon la nature et l'espèce de machine dont on fait usage.

L'air est aspiré dans les machines par le moyen du vide que forme le mouvement du volant de la caisse mobile ou des pistons ; l'air extérieur soulève la soupape et entre avec précipitation pour remplir l'espace vide : si donc on veut avoir le volume de l'espace formé dans chaque aspiration, on pourra, en le multipliant par le nombre d'aspirations dans un temps donné (une minute par exemple), connaître la quantité d'air atmosphérique que ces machines aspirent.

Ce que l'on se propose en déterminant la quantité d'air lancée par les machines soufflantes, c'est de connaître quelle est la masse d'oxygène employée dans la combustion. Cette masse est comme le produit des volumes par les densités ; mais les densités varient avec la compression et la température. On s'est assuré, par l'expérience, que la même masse d'air occupe un volume d'autant plus considérable (toutes choses égales d'ailleurs) qu'il est plus échauffé. Quoique le raison-

nement parût prouver que l'augmentation de tous les gaz devait être la même, en passant d'une température à une autre, et que les augmentations devaient être égales pour des degrés de température égaux, des expériences inexactes, faites par divers savants, avaient conduit à des conclusions toutes différentes. On doit aux belles expériences de Gay-Lussac la connaissance de la loi de la dilatation des gaz par la chaleur : il résulte de l'expérience que tous les gaz augmentent de 0.375 leurs volumes primitifs en passant de la température de la glace à celle de l'eau bouillante, conséquemment de $\frac{0.375}{80}$ pour chaque degré de Réaumur au-dessus de zéro.

Le degré de l'humidité de l'air a encore une influence marquée sur la quantité d'oxygène contenue dans une masse d'air donnée; mais il faut, pour déterminer sa proportion, avoir des expériences hygrométriques très exactes, et ces sortes d'observations se font rarement dans les forges.

Puisque la quantité d'air lancée par les machines soufflantes varie avec les pressions et les températures intérieures, il est nécessaire, pour déterminer ces quantités avec exactitude, que les pressions et les températures soient observées avec soin. Autant il est facile de connaître celles qui ont lieu dans l'intérieur des machines soufflantes, autant il est difficile d'observer exactement celles qui ont lieu à l'extérieur, et cela parce que l'air sort par une ouverture qui est placée dans la tuyère, dont l'emplacement, qui est très petit, est exposé à toutes les variations que doit occasioner la proximité du foyer.

L'air obtenu par les machines s'accumule dans des réservoirs ou des régulateurs, pour être conduit

ensuite, à l'aide de tuyaux plus ou moins longs, nommés *porte-vents*, dans les différents fourneaux où il doit être employé pour donner plus d'activité à la combustion. Une expérience extrêmement curieuse, faite par M. Wilkinson (*Journal des Mines*, tom. 26), a prouvé que l'air ne peut être transporté par des tuyaux qu'à une distance limitée, au-delà de laquelle il est impossible de le faire parvenir, quelle que soit la compression que l'on exerce sur lui.

« Ce célèbre maître de forge avait imaginé de « fournir le vent à un haut fourneau en se ser- « vant de l'eau d'un ruisseau qui en était éloigné « de 5,000 pieds (environ un mille anglais). « Dans ce dessein, il fit construire une grande « roue à chute supérieure; il établit une ma- « chine soufflante dont les pistons étaient mus par « cette roue; et enfin il plaça une suite de tuyaux « de conduite, disposés en ligne droite, pour por- « ter de l'air de la machine au haut fourneau : « ces tuyaux étaient en fonte de fer, et leur dia- « mètre intérieur était de 12 pouces.

« Quand toutes ces constructions furent ache- « vées, et qu'on eut mis l'eau sur la roue, ce fut « un grand sujet de surprise pour tous les assis- « tants de voir que l'air comprimé s'échappait « avec vitesse par toutes les plus petites ouvertu- « res, et avec une force extrême par la soupape « de sûreté, tandis que, près du fourneau, une « lumière exposée à l'autre extrémité des tuyaux « de conduite n'indiquait pas le plus petit mouve- « ment dans l'air. On boucha alors avec soin tou- « tes les jointures; on chargea peu à peu la sou- « pape de sûreté, jusqu'à ce que l'air comprimé « ne pût la soulever; et la roue (malgré une plus « grande affluence d'eau) ralentit elle-même son

« mouvement, et finit par s'arrêter tout-à-fait. « Quoique l'air fût ainsi comprimé à un tel de- « gré que sa force élastique fît équilibre à toute « la puissance motrice, on n'aperçut pas le plus « léger souffle à l'extrémité des tuyaux de con- « duite. L'idée la plus naturelle qui se présenta « fut que les tuyaux étaient obstrués en quelque « endroit; et, pour s'en assurer, on mit un chat à « l'embouchure des tuyaux, près de la machine, « et on lui ferma l'issue par cette extrémité. Peu « de temps après, cet animal sortit sain et sauf « par l'autre bout, d'où l'on avait enlevé la buse, « et il avait ainsi parcouru sans obstacle toute la « longueur des tuyaux de conduite. On soupçonna « dès lors, pour la première fois, que la longueur « du tuyau pourrait bien être la cause, jusqu'ici « inconnue, de ce phénomène singulier; et, pour « s'en convaincre, M. Wilkinson fit percer des « trous de 30 pieds en 30 pieds dans le tuyau de « conduite, en commençant à l'extrémité la plus « éloignée. Quand on vint à percer le tuyau à la « distance de 600 pieds de la machine, un léger « courant d'air se fit sentir, et il augmenta suc- « cessivement à mesure que les trous étaient plus « rapprochés. »

On savait depuis long-temps que les machines qui servent à porter l'air dans les mines ne peuvent agir qu'à une certaine distance, qu'on estime être de 1,208 mètres.

L'expérience de Wilkinson démontre que le ressort de l'air diminue à mesure que l'ouverture du porte-vent s'éloigne du réservoir d'air, et qu'il doit y avoir un terme passé lequel il ne peut plus sortir. On peut conclure de tout ceci qu'il est nécessaire de placer le réservoir à air le plus près possible de toutes les bouches à feu auxquelles il doit

fournir le fluide élastique destiné à favoriser la combustion.

DES DIVERSES ESPÈCES DE MACHINES SOUFFLANTES.

Nous passerons sous silence les roues hydrauliques qui font mouvoir des soufflets, ainsi que l'application des forces musculaires des animaux ou des hommes au même objet, parce que la connaissance en est universellement répandue, et nous nous occuperons seulement des moyens qui semblent offrir plus d'avantage que les animaux, ou qui doivent être substitués à un cours d'eau, quand il n'est pas à la disposition du maître de forges.

Des machines à colonnes d'eau.

On appelle *machines à colonnes d'eau* celles qui sont mues par la chute ou le poids d'une masse d'eau très élevée. Il faut, pour les construire, une situation particulière, et dans laquelle on puisse obtenir une chute considérable.

Ces sortes de machines sont connues depuis long-temps, quoiqu'elles soient peu en usage; il en existe quelques unes dans les mines de Schemnitz, en Hongrie. On les y a nommées *hollische machine,* du nom du maître des machines Holl, qui proposa et dirigea leur construction. Là elles sont destinées à élever l'eau de plusieurs galeries par l'action d'une colonne d'eau plus élevée.

L'inspecteur des mines Baillet a proposé d'appliquer les machines à colonne d'eau au mouvement des machines soufflantes à cylindre. (Voyez *Journal des Mines,* tom. 3.) Le moyen qu'il pro-

pose est si nple. Un réservoir un peu élevé communique, par le moyen d'un tuyau vertical, à un cylindre ; celui-ci communique à un second cylindre supérieur dans lequel est un autre piston. Deux robinets ou soupapes établissent la communication, l'un entre le cylindre à piston et le réservoir d'eau, l'autre entre le cylindre à piston et l'extérieur. Le piston communique, par le moyen d'une tige ou tringle verticale, au piston de la machine soufflante.

Lorsque le robinet qui établit la communication du cylindre à piston avec l'air intérieur est fermé, et que l'autre est ouvert, l'eau arrive du réservoir supérieur dans le cylindre ; par sa compression elle soulève le piston, et par conséquent celui de la machine soufflante ; ce dernier chasse ainsi l'air qui y est contenu. Lorsque le piston est assez élevé, on ferme le robinet qui communique au réservoir, on ouvre le robinet qui communique à l'extérieur, et, par la pression des deux pistons sur l'eau, ce liquide sort, les pistons descendent, et le cylindre de la machine soufflante se m pl it de l'air qu'il aspire.

Refermant le robinet de la sortie de l'eau, ouvrant celui d'entrée, les pistons remontent, et ils redescendent lorsque l'on ferme le robinet ouvert et que l'on ouvre celui qui est fermé.

Tout consiste donc, pour la construction de cette machine, à fermer le robinet d'entrée de l'eau, et ouvrir le robinet de sortie, lorsque le piston est élevé ; à fermer celui de sortie, et ouvrir celui d'entrée de l'eau, lorsque le piston est descendu. Pour cela, l'inspecteur Baillet propose d'appliquer à la tringle qui communique aux deux pistons deux régulateurs qui ouvrent et ferment les robinets, lorsque les pistons sont arrivés

dans les positions où leur mouvement doit rétrograder.

On peut également se servir de ces sortes de machines pour faire mouvoir des soufflets, en appliquant un mentonnet dessus ou dessous la tringle verticale fixée dans le piston qui communique au réservoir d'eau, et en formant une camme de l'extrémité du levier fixé sur le volant du soufflet. La courbure de cette camme est une développée du cercle. Lorsque le mentonnet est placé par-dessous, il la soulève naturellement par l'effet de l'eau; lorsque le mentonnet est placé par-dessus, il faut charger le piston d'un poids qui le force à exercer une compression sur la camme en descendant, et l'effet de l'eau, dans ce cas, est employé à soulever le poids qui comprime le piston, et à vaincre le frottement de celui-ci.

En général, tout porte à croire que les machines à colonne d'eau produisent plus d'effet que les machines hydrauliques ordinaires, la consommation d'eau étant la même, parce que dans ces sortes de machines toute l'eau consommée est employée à produire de l'effet, tandis que dans les autres il y a toujours une partie de l'eau perdue.

De l'usage des machines à vapeur pour faire mouvoir les machines soufflantes.

Dans la description des planches jointes à cet ouvrage, on trouvera celle de la machine à vapeur que nous avons fait graver pour en donner une idée aux personnes à qui ces machines pourraient encore être restées inconnues, malgré la connaissance presque générale qui s'est répandue depuis quelques années de leur mécanisme et de leur jeu principal.

Le moyen le plus simple d'appliquer le mouvement de va et vient des pistons de la machine à vapeur, pour l'aspiration et l'expiration de l'air dans les machines soufflantes, serait de placer le cylindre de la machine soufflante au-dessus ou au-dessous de celui de la machine à vapeur. En faisant communiquer les deux pistons par une tringle, les deux mouvements auraient lieu à la fois sans l'intervention d'aucun mécanisme intermédiaire. Mais cette disposition est peu praticable, à cause de la trop grande hauteur qu'elle donne par la superposition des deux cylindres, et parce qu'elle nécessite la construction d'un nouveau mécanisme pour faire mouvoir les soupapes qui amènent l'eau fraîche dans le réfrigérant, et pour élever l'eau du réfrigérant qui a été échauffée par la vapeur qu'elle a condensée.

Dans presque toutes les souffleries, on applique directement un balancier à la tringle du piston de la machine à vapeur, et c'est ce balancier qui fait mouvoir la machine soufflante.

Examen des avantages comparés et des inconvénients de chaque machine soufflante.

Il suit de toutes les observations que l'on a été à portée de faire pour cette comparaison, à l'effet de déterminer un choix raisonné, que, lorsque l'on peut choisir entre les soufflets de cuir, les soufflets d'orgue et ceux de bois, et les trompes, les machines quadrangulaires en bois et les machines cylindriques en fonte, on doit préférer ces dernières. Il ne reste plus qu'à comparer les avantages et les inconvénients que présentent ces trois derniers soufflets, savoir, les trompes, les caisses à eau et les cylindres de fonte. Commençons par

la comparaison des trompes et des machines cylindriques; nous comparerons ensuite les machines cylindriques avec les caisses à eau.

D'après des résultats obtenus par M. Rambourg, habile maître de forges, relativement aux machines à piston, et que l'on trouve consignés dans le *Journal des Mines*, tome 7, on voit que les cylindres de fonte des forges de Marché-sur-Meuse produisent 400 pieds cubes d'air par minute, avec une dépense de 80 pieds cubes d'eau dont la chute est de 10 pieds. D'un autre côté, il paraît assez certain qu'aux mines de Poullaouen, en Bretagne, les trompes consomment 157 pieds cubes d'eau pour produire 100 pieds d'air, donc 8 fois autant d'eau, avec une chute double, que les cylindres à piston, et cela pour ne donner que la même quantité d'air. D'autres expériences, faites par l'ingénieur Gallois sur les trompes des hauts fourneaux situés dans l'état de Piombino, en Italie, semblent aussi prouver que 333 pieds cubes d'eau, tombant de 19 pieds de haut, ne produisent que 166 pieds cubes d'air : donc il faudrait au moins 800 pieds cubes d'eau pour produire 400 pieds cubes d'air, ainsi dix fois plus que les cylindres n'en exigent, et cela avec une chute d'eau presque double.

Les trompes sont des machines si simples, si faciles à établir, leur construction est si peu coûteuse, que, malgré cette grande consommation d'eau qui leur est propre, il est encore beaucoup de localités dans lesquelles on aurait du bénéfice à en faire usage; mais ces sortes de machines ont d'autres défauts qu'il est nécessaire de connaître, et que l'on doit examiner avant de se décider en leur faveur. Pour les bien juger on va les considérer sous un autre rapport, qui est beaucoup plus essentiel pour les maîtres de forges, celui de

la consommation de charbon qu'elles occasionent.

L'air entraîné par l'eau dans les trompes doit nécessairement se saturer de ce liquide; mais, indépendamment de cette saturation, comme l'eau est divisée par l'air lorsqu'elle tombe dans la caisse de la trompe, elle doit nécessairement se réunir en globules plus ou moins gros. Un grand nombre de ces globules restent suspendus dans l'air comme un nuage, et sont entraînés avec lui. On voit, en effet que 1° les conduits de cuir à l'aide desquels on dirige l'air dans la tuyère *suent* toujours l'humidité que dépose le courant d'air dans son passage; 2° lorsqu'il s'échappe de l'air des porte-vents, soit par des scissures accidentelles, soit par des ouvertures faites à dessein, les corps exposés au contact de ces courants se couvrent d'eau. Ainsi on doit considérer l'air des trompes comme étant supersaturé d'humidité, et comme retenant d'ailleurs en suspension une grande quantité d'eau.

Il suit des expériences faites en commun par Lavoisier et par Laplace que la quantité de calorique dégagé d'une quantité d'oxygène combinée avec du carbone ou avec de l'hydrogène est : : 375 : 542. Donc il se dégage plus de calorique de la combinaison de l'oxygène avec l'hydrogène, pour faire de l'eau, qu'il ne s'en dégage de l'oxygène avec le carbone, pour faire de l'acide carbonique; donc encore il faut plus de chaleur pour décomposer une quantité donnée d'eau qu'il n'y en a de dégagée par la combustion du carbone avec la quantité d'oxygène qu'elle produit; donc enfin, la vapeur d'eau devrait éteindre un feu de charbon, si, avec cette vapeur, il n'y avait pas toujours un mélange d'une quantité d'air contenant de l'oxygène en assez grande

abondance pour fournir le calorique absorbé par la décomposition de l'eau, et pour entretenir la température propre à continuer la combustion. Aussi s'est-on assuré, dans plusieurs circonstances, qu'il suffisait souvent d'une pluie de vapeurs, distribuée de manière à couvrir toute la matière enflammée, pour éteindre un commencement d'embrasement formé dans des substances très combustibles.

Puisqu'il se dégage plus de calorique de la combinaison d'une quantité donnée d'oxygène avec de l'hydrogène que de cette même quantité combinée avec du carbone, on en doit conclure que, si, dans la combustion du charbon, le calorique n'est dégagé que par la combinaison du carbone avec l'oxygène, la quantité de calorique libre doit être d'autant moins grande que l'air dans lequel ce gaz est mélangé contient plus d'humidité; et de là, que l'air des trompes, toujours humide, produit moins de chaleur que l'air sec (car cette humidité, transportée par l'air, produit sur le calorique dégagé un effet semblable à celui de l'eau qui mouille les charbons); enfin que, pour obtenir une température propre à fondre le fer, il faut brûler d'autant plus de charbon que l'air ou le charbon lui-même est plus humide; de là, par conséquent, que l'air très humide des trompes doit occasioner une consommation de charbon plus considérable que celui fourni par les autres machines soufflantes, qui aspirent et expirent généralement un air plus sec.

Oreilly rapporte à ce sujet (*Journal des arts et manufactures*, tom. 4) « qu'un maître de forges anglais, que son expérience et sa fortune « mettaient à même de faire les expériences les « plus décisives dans l'art de fabriquer le fer,

« avait cru qu'en introduisant, par une ouverture « au-dessous de la tuyère, de la vapeur d'eau sur « les matières en ignition jusqu'à une chaleur blan- « che, il se ferait une décomposition qui présen- « terait au combustible une plus grande quantité « d'oxygène, et que l'on obtiendrait ainsi une « combinaison plus active que par les procédés « suivis jusque alors. Cette expérience, faite dans « un fourneau de 18 pieds de haut, a prouvé de « la manière la plus complète *les pernicieux ef-* « *fets de l'humidité*. Le haut fourneau devint « froid partout où avait passé le courant de va- « peur; le refroidissement produit par la décom- « position de l'eau et le dégagement de l'hydro- « gène s'accrut au point le plus effrayant jusqu'au « haut du fourneau; le métal obtenu était blanc « comme de l'argent dans sa cassure; l'introduc- « tion de la vapeur fut continuée; la charge des « matières dans le fourneau perdit sa chaleur, et « peu à peu le fourneau se trouva bouché par « une voûte de lave qui mit fin à l'expérience et « au travail. »

Ce résultat est entièrement conforme à la théorie; il se déduit naturellement des expériences de Lavoisier.

Si l'on compare les résultats obtenus par le maître de forges anglais avec la marche des hauts fourneaux dans les temps secs et dans les temps humides, on trouve qu'il existe une parfaite analogie entre son expérience et les observations journalières.

En effet, c'est toujours l'hiver, lorsque l'air est sec et que le baromètre est très élevé, que les fourneaux vont le mieux, que la fonte obtenue est meilleure et plus grise. Dès que le temps change, que le ciel se couvre de nuages et que

l'air se sature d'eau, qu'il tombe de la neige, la fonte blanchit, et le laitier devient long et tenace. Quand l'air est rempli de brouillard, qu'il tombe de la pluie, le fourneau va au plus mal. En général, plus l'air est vif, sec et froid, plus la combustion est rapide, plus la descente de la charge dans les hauts fourneaux est accélérée; et plus la fonte est grise; plus l'air est humide et chaud, plus la combustion est lente, plus la descente de la charge est retardée, plus la fonte est blanche, et plus le fourneau consume de charbon proportionnellement à la fonte obtenue.

« Dans plusieurs contrées de l'Europe, on obtient de plus grands produits des fondages faits « en hiver que de ceux que l'on fait en automne, « et surtout en été. La qualité du métal est encore plus carbonée, et cela avec une plus « petite proportion de combustible. Dans quelques « vallons de la Suède, où les chaleurs sont excessives, les maîtres de forges sont obligés d'arrêter « leurs fourneaux pendant deux ou trois mois. « Il leur est impossible non seulement de fabriquer du métal carboné, mais encore de parvenir « à avoir un fer passable. En Angleterre, pendant « le trimestre d'été, la qualité du fer obtenu « avec la proportion accoutumée de *coke* se « trouve diminuée de trente pour cent de valeur, « et la quantité en est extrêmement réduite. » (*Annales des arts et manufactures*, tom. 4.)

On voit par tout ce qui précède que, lors même que les trompes ne présenteraient pas l'inconvénient d'une consommation d'eau plus forte que les cylindres de fonte pour produire la même quantité d'air, lors même qu'elles n'exigeraient pas une chute considérable de l'eau (condition qui n'en permet pas l'établissement dans toutes

les localités), il leur resterait encore l'immense désavantage de fournir un air chargé d'humidité, qui occasione une dépense de charbon beaucoup plus considérable; et comme cette dépense se renouvelle dans tous les instants, elle forme à la fin de chaque fondage une somme d'autant plus forte que la quantité de charbon l'est elle-même, et cette somme est toujours très grande.

Il convient maintenant de comparer les cylindres à frottement et les caisses mues dans l'eau. Si l'on se contente de comparer les forces employées pour faire mouvoir ces machines, on est tenté, sans pousser plus loin l'examen, de regarder les caisses mues dans l'eau comme devant exiger moins de force pour produire la même quantité d'air : car on n'a à vaincre, avec ces sortes de machines, que le poids de la caisse, plus celui du frottement de l'eau, qui est très peu de chose; tandis que, dans le cylindre, il faut vaincre le poids du piston, plus le frottement, qui est ordinairement très considérable. Cependant il est digne de remarque que les caisses à eau, exécutées un grand nombre de fois, ont toujours été abandonnées.

On peut expliquer la cause des reprises et des abandonnements successifs de cette espèce de machine en considérant que la plupart des personnes qui proposent et discutent des machines soufflantes ne les examinent que sous un rapport, celui de la force qu'elles emploient comparée au volume d'air qu'elles produisent; mais il y a une seconde manière de les considérer, et qui, dans une foule de circonstances, est plus essentielle que la première : c'est celle qui est relative à la nature de l'air qu'elles fournissent. Les rapports des forces ne présentent qu'une consommation d'eau plus ou

moins grande, et si ce liquide est abondant dans beaucoup de situations, cette consommation est indifférente; tandis que le plus ou moins d'humidité dans l'air qui est introduit dans le haut fourneau peut avoir une influence énorme sur la dépense en combustible. Or les caisses à eau mettent l'air qu'elles aspirent en contact continuel avec l'eau; et dès lors tout ce que nous avons dit plus haut des inconvénients qu'offent les trompes leur devient applicable.

Cette discussion sur les machines soufflantes peut également s'étendre aux régulateurs. Nous avons vu que l'on fait usage de trois sortes de régulateurs: 1° à piston, 2° à cuve d'eau, 3° à cave. Les premiers sont des caisses ou des cylindres dans lesquels se meut, à frottement, une caisse ou un piston chargé d'un poids; et, par ce mouvement, l'espace dans lequel l'air se trouve comprimé par une force peu variable augmente lorsqu'il arrive de l'air nouveau, et diminue lorsqu'il en sort. Les seconds sont de grands réservoirs d'eau recouverts d'une caisse, dans lesquels l'air de cette caisse est comprimé par le poids d'une colonne d'eau égale à la différence des deux hauteurs de l'eau à l'extérieur et à l'intérieur. Le troisième est un grand espace vide, dans lequel l'air, lorsqu'il est comprimé, entre par une ouverture et sort par une autre: l'orifice de sortie a des dimensions telles que, pour qu'il sorte, dans un temps donné, par cet orifice, autant d'air que la machine soufflante en fait entrer, il faut que l'air intérieur éprouve une compression d'autant plus grande que l'ouverture est plus petite, et cette compression peut être estimée par la hauteur d'une colonne d'eau ou d'une colonne de mercure.

En comparant ces trois régulateurs entre eux,

on voit d'abord que le régulateur à cuve d'eau a tous les désavantages qui résultent de la saturation de l'air par l'eau, et que nous avons suffisamment exposés plus haut en parlant des machines de soufflerie. Quant aux caves, elles paraîtront, au premier aperçu, à cause de leur simplicité et du peu d'entretien et de réparations qu'elles exigent, devoir obtenir la préférence; mais il est bien difficile de les garantir des infiltrations aqueuses, qui en saturent l'air d'humidité. On a d'ailleurs observé (*Annales des arts et manufactures*, tom. 4) « qu'en été l'air se vicie telle-« ment dans les caves ou réservoirs, qu'il affecte « la qualité des fers au point de les changer de « fonte grise en une fonte blanche ».

Conclusion. — A moins de circonstances toutes particulières, il paraît donc que les régulateurs à piston et à frottement doivent être préférés. Une de ces circonstances particulières pourrait être une situation dans un lieu élevé, où les caves se maintiendraient dans un état de sécheresse. Alors elles offriraient l'avantage de rendre plus uniforme l'état hygrométrique de l'air lancé dans le fourneau: car lorsque la machine soufflante aspire un air dont l'humidité est variable, ce fluide élastique, en se répandant dans la masse de l'air contenu déjà dans le régulateur, équationne son humidité, et devient susceptible de sortir dans un état plus constant, d'où résulte une marche plus régulière du fourneau.

DES DIVERS FONDANTS PROPRES A PRODUIRE OU ACCÉLÉRER LA FUSION DES MINERAIS DE FER.

On appelle *fondants* les substances que l'on ajoute aux minerais pour aider et accélérer leur

fusion, et pour faciliter la séparation des matières étrangères qui y sont mélangées. Ces fondants sont métalliques, terreux ou inflammables; ils produisent, en se liquéfiant, des *mattes*, des *scories* ou des *laitiers*, qui se séparent des métaux par leur plus grande légèreté et par leur plus grande facilité à se solidifier.

On a donné le nom de *mattes* à des sulfures métalliques qui se forment pendant la fusion des minéraux, et celui de *laitiers*, *laves* ou *scories*, aux substances terreuses qui se liquéfient à la température à laquelle les minerais sont exposés.

Un grand nombre de métallurgistes donnent indistinctement le nom de *scories* aux terres vitrifiées qui recouvrent la fonte dans le creuset du haut fourneau et à celles qui la recouvrent dans les forges et les affineries. L'*Encyclopédie par ordre de matières* a attribué le nom de *laitier* aux verres terreux des hauts fourneaux, et celui de *scories* aux crasses qui se séparent du fer dans les feux de forge et d'affinerie. Cette distinction semble devoir être conservée; elle s'accorde mieux avec les étymologies. En effet, les verres terreux qui se forment dans la fonte des minerais sont des substances distinctes du métal; souvent ils sont produits en partie par les matières que l'on ajoute aux minerais dans la charge; plusieurs de ces verres sont gris, et par cela même se rapprochent davantage de la couleur du lait, d'où le mot *laitier* paraît dériver. Les scories, au contraire, se séparent du fer cru lorsqu'on le fond de nouveau; c'est bien une espèce de crasse, d'écume, que rend la fonte en s'affinant, et c'est en la débarrassant de cette crasse qu'on l'amène à l'état de fer plus ou moins pur.

On a vu ci-devant combien les minerais de fer

différent les uns des autres par leur état d'oxidation ou de combinaison, par la nature et par la proportion des substances qui les composent. Cette variation a donné naissance à plusieurs divisions qui sont nécessaires pour les faire apprécier et pour établir entre eux la distinction qu'ils présentent. Sous ce rapport les minerais de fer se divisent naturellement en deux classes : oxidule ou oxide de fer pur, et oxide de fer terreux.

Oxidules ou oxides de fer purs.

Les oxidules et les oxides de fer purs, proprement dits, devraient s'entendre de substances qui ne contiendraient rien d'étranger à l'oxide de fer. Mais ces oxides purs, quoique communs dans les cabinets, les collections, sont cependant rares dans les mines, et par conséquent les opérations de la métallurgie du fer s'exercent peu fréquemment sur des matières aussi pures, car il est fort difficile d'en séparer entièrement les gangues adhérentes au minerai que l'on va fondre : aussi les oxides les plus purs, ceux de l'île d'Elbe, du val d'Aoste, de Suède, sont-ils encore souillés d'une portion plus ou moins grande de la gangue qui les accompagne. Dans le langage des métallurgistes, les oxides ou oxidules de fer appelés *purs* sont ceux qui ne sont souillés que d'une très petite quantité de terre, et dans lesquels la proportion des matières étrangères ne s'élève pas au-delà de la 6e partie du minerai.

Ces sortes de minerais, assez abondants, sont connus des fondeurs sous le nom de *mines sèches;* ils sont très difficiles à traiter seuls et sans addition ; et quoiqu'ils soient ordinairement très riches, puisqu'ils produisent plus de 60 pour 100 en

fer cru, et qu'ils se fondent facilement, ils exigent cependant, relativement à la quantité de fonte que l'on en obtient, une consommation de charbon plus considérable que les mines terreuses, qui sont d'une fusion plus difficile, et le plus souvent ils ne donnent qu'une qualité de fonte inférieure. D'ailleurs les fourneaux dans lesquels on fond des *mines sèches* et pures exigent plus de soin, présentent plus de difficulté dans le travail, et s'engorgent plus facilement.

On peut ranger parmi les *mines sèches* 1° les oxidules de fer purs, 2° plusieurs fers spathiques, 3° les oxides mélangés d'oxidules, 4° les oxides mamelonnés, 5° plusieurs oxides en roche.

Il est bon d'observer que ces cinq espèces et sous-espèces de minerais de fer connues sous le nom de *mines sèches,* et qui présentent de grandes difficultés lorsque l'on veut les traiter seules et sans addition dans les hauts fourneaux, sont au contraire traitées, fondues et affinées avec la plus grande facilité dans les bas fourneaux, par les méthodes connues sous les noms de *méthode de Corse* et de *méthode à la catalane;* tandis que plusieurs minerais qui se fondent facilement et avec peu de charbon dans les hauts fourneaux sont intraitables ou très difficiles à traiter dans les fourneaux d'affinerie : tels sont, par exemple, les minerais de fer en grains, sur lesquels Diétrich a fait des tentatives qui ne lui ont donné que de très faibles résultats. Cette différence d'action du feu des fourneaux d'affinerie sur les *mines sèches* et les *mines terreuses* prouve que les premières sont plus fusibles que les secondes, et que ce n'est pas à cause d'un manque de fusibilité qu'elles ne peuvent être traitées qu'avec tant de désavantage aux hauts fourneaux ; puisque les mines terreuses

et en grains, moins fusibles et moins riches, y sont fondues avec facilité, et que la fonte qu'elles produisent exige une consommation de charbon moins considérable.

Il convient d'examiner pourquoi les oxidules et oxides de fer purs présentent tant de difficultés pour les traiter au haut fourneau.

Lorsque les oxides et oxidules de fer purs sont jetés par le gueulard dans le haut fourneau, et qu'ils se trouvent environnés de charbon, ils s'échauffent à mesure qu'ils descendent avec la charge, et ils se désoxident peu à peu, tant par leur contact avec le charbon que par les gaz carbonés qui les pénètrent. Ce contact étant continué, le carbone se combine avec le fer quand il ne rencontre plus d'oxygène. Le minerai descend ainsi dans l'espace formé par les étalages : là il éprouve une température propre à le faire fondre; il se liquéfie, et coule goutte à goutte à travers les charbons, pour tomber dans le creuset.

Au moment où ce minerai entre en fusion, il est combiné avec une quantité suffisante de carbone pour produire d'excellente fonte; mais en descendant dans la partie appelée l'*ouvrage*, et en traversant des tranches remplies d'air lancé par les machines soufflantes, cet air, qui passe rapidement à travers la petite masse de charbon qui remplit l'ouvrage, contient encore dans son passage une quantité considérable d'oxygène, et chaque goutte de fer fondu qui se trouve exposée à son action se brûle en partie et s'oxide.

Le premier effet de l'oxygène est de brûler le carbone combiné avec le fer, parce qu'il a plus d'affinité à cette température avec le premier qu'avec le second; mais la goutte de métal fondu, continuant à descendre, traverse de nouvelles

tranches d'air qui sont, par leur position, plus oxygénées que les précédentes; puis elle arrive vis-à-vis la tuyère. Là, l'oxygène se porte en masse sur la goutte de fer fondu, la brûle en lui *faisant jeter des étincelles comme une gerbe d'artifice*. Le fer, réduit en partie à l'état d'oxide, tombe dans le creuset. Le peu de terre de la gangue restée unie au minerai, et qui s'est fondue aussi, se combine avec l'oxide de fer, et produit, par cette combinaison un laitier noir, très riche en fer, et qui peut être comparé aux scories de forge. Cette combinaison est cause d'une grande diminution dans la quantité de la fonte que l'on aurait dû avoir. Indépendamment de la diminution de la masse, la fonte perd encore de sa fluidité, elle ne coule que lentement, et passe avec le peu de *laitier sec, en s'attachant aux parois du fourneau*. D'où il résulte trois inconvénients majeurs : 1° diminution du fer, 2° trop grande oxidation de la fonte, 3° tendance à l'engorgement du fourneau.

Ces trois inconvénients, très à redouter, ont déterminé plusieurs maîtres de forges, dans un grand nombre de circonstances, à rejeter des minerais de fer extrêmement riches, qui étaient trop purs et qui leur présentaient de trop grandes difficultés dans le traitement, et cela parce qu'ils ne connaissaient pas le mode qui devait leur être appliqué. Il existe en France, dans plusieurs terrains primitifs, des mines de fer oxidulé, dont l'exploitation est négligée, parce qu'elles occasioneraient, à ce qu'on croit, plus de dépenses dans les hauts fourneaux, pour en obtenir de la fonte d'une bonne qualité, par la méthode ordinaire, que les mines de fer terreuses, plus pauvres, que l'on exploite habituellement.

Puisque la difficulté que présentent les *mines sèches* dans leur traitement provient de l'action de l'oxygène sur le fer fondu, lorsqu'il tombe goutte à goutte, et de l'oxidation que les globules éprouvent en traversant l'ouvrage, le remède qui semble le plus naturel, et qui est le plus simple, doit être de mélanger des matières terreuses, vitrifiables, avec les minerais purs. Lorsque le fer est fondu et que chaque goutte est enveloppée d'une couche plus ou moins épaisse de verre terreux, de laitier, celle-ci défend le métal de l'action de l'oxygène, et la goutte tombe dans le creuset sans avoir été sensiblement altérée en passant devant la tuyère : de là il résulte 1° que le fer, en tombant, conserve son carbone, et qu'il doit être plutôt *carburé* qu'oxidé; 2° que l'on peut obtenir de la fonte grise, si le minerai est resté assez long-temps en contact avec les charbons avant que les verres terreux qui doivent l'envelopper n'aient été fondus; 3° que le laitier est moins chargé de fer, parce qu'il trouve moins d'oxide de ce métal qui puisse se combiner avec lui ; de là encore que la quantité de fonte est moins diminuée ; 4° enfin, qu'en mélangeant des terres qui aient une forte action l'une sur l'autre, et en les mélangeant dans des proportions convenables, on peut obtenir le laitier à l'état de liquidité le plus favorable au travail. Cette addition de matières terreuses vitrifiables, pour augmenter la proportion du laitier, a été reconnue avantageuse, et même nécessaire, par tous les fondeurs intelligents.

En Suède, où le travail du fer a fait, depuis un grand nombre d'années, des progrès rapides sous les hommes célèbres que le gouvernement a placés à la tête de l'administration des fonderies

de fer, et où il existe des mines d'oxidules purs en grande abondance, on mélange toujours avec les minerais très purs et très riches d'autres minerais qui le sont moins, et qui contiennent diverses terres, afin d'augmenter la masse du laitier. Garney observe, dans son Traité de la fonte des minerais de fer, 2e *partie*, que, lorsque les minerais sont tellement riches qu'ils donnent à l'essai plus de 0.50, ils éprouvent dans le travail un déchet de 0.10 à 0.20; tandis que lorsqu'ils sont mélangés de manière à ne produire que moins de 0.50, la perte se borne de 0.02 jusqu'à 0.06. La mine spéculaire, dit Tiemann, serait trop difficile à fondre seule: il faut la mélanger avec une mine argileuse, et y ajouter de la *castine*. La mine de fer magnétique, dit le même métallurgiste, § 304, doit être mélangée avec d'autres minerais; seule, elle fondrait mal, parce qu'elle contient trop peu de matières terreuses pour produire les scories qui lui sont nécessaires. Dans les forges de *Moss*, en Norwége, où l'on fond des minerais oxidulés, on mêle diverses variétés de minerais plus ou moins riches; on en mêle jusqu'à vingt-cinq espèces ou variétés différentes: ce mélange est tel qu'il rend 0.36. Les minerais fondus à *Laurwig*, en Norvége, sont tirés des mines d'*Arendal*; ils sont variés dans leurs espèces et dans leur produit, et la plupart sont attirables à l'aimant: on mêle ces diverses espèces ensemble pour les fondre, afin d'en obtenir un bon fer.

Mais une question intéressante s'offre ici: quelle sera la terre employée pour cette addition, et comment en déterminera-t-on la proportion?

Grignon rapporte que, sur un mélange de dix parties de minerai terreux en grains, et une de cas-

tine, il a obtenu deux parties pondérables de laitier sur une de fer.

Duhamel annonce que, d'après diverses observations faites pendant la fusion des minerais de fer dans les hauts fourneaux, il a reconnu que, en général, le volume du laitier devait être au moins quatre ou cinq fois plus grand que celui du régule métallique, *sans quoi la fonte que l'on obtient ne contient pas tout le fer qui était dans le minerai, et celui qui en résulte est rarement de bonne qualité.* La pesanteur spécifique des laitiers varie entre 2.4 et 3.2 : la densité moyenne est donc 2.8. La pesanteur spécifique de la fonte de fer varie entre 7.0 et 8.0 : la moyenne est donc 7.5. Si le volume du laitier est quatre ou cinq fois plus fort que celui de la fonte, son poids sera entre 1.5 et 2.0 celui du fer cru, ce qui s'accorde avec les quantités obtenues par Grignon. Cependant, tout fait croire que l'on peut obtenir un bon fer, et qu'un fourneau peut être bien conduit, lorsque le minerai rend des poids égaux de fonte et de laitier, ou que le volume de celui-ci est de trois fois celui de la fonte, enfin lorsque le minerai rend 0.40; et cependant les deux fourneaux de Carinthie, de la famille Rauscher, qui ne consument que 95 parties de charbon par 100 de fonte; celui de Feystritz, également en Carinthie, qui consume 99 parties de charbon par 100 de fonte, fondent des minerais qui rendent 0.45 de fer cru; mais aussi celui des bénédictins de Rettelstein, en Styrie, qui ne consume que 66 parties de charbon par 100 de fonte, emploie un minerai qui ne produit que 0.27.

On peut se procurer la quantité de laitier nécessaire à un bon fondage de deux manières : 1° en mélangeant ensemble des minerais qui con-

tiennent des proportions de terre très différentes; les terres peuvent, ou être combinées dans des minerais terreux pauvres, ou faire partie de la gangue des mines; 2° en ajoutant aux minerais des terres propres à produire la quantité de laitier la plus favorable, et dont la nature et les proportions soient telles qu'elles puissent se fondre aisément.

Assez ordinairement on emploie le premier moyen, et l'on fait venir quelquefois de fort loin, et à grands frais, des minerais pauvres, ce qui occasione de grandes dépenses, ainsi que l'observe Duhamel.

Lorsque l'on a à sa proximité des minerais pauvres, mélangés ou combinés avec des terres de facile fusion, il est bon de préférer ces substances à toutes les autres, pour les mélanger avec les minerais riches; mais, si l'on n'avait pas cette facilité, on pourrait faire des mélanges terreux qui contiendraient les différentes terres, et dans des proportions convenables pour leur fusion complète et prompte, sans que pour cela le laitier perdît de la tenacité qu'il convient de lui conserver pour qu'il reste adhérent au fer dans son passage, et qu'il recouvre chacun des globules qui arrivent devant la tuyère.

Des oxides de fer terreux.

Quoique les minéralogistes ne reconnaissent comme mines de fer terreux que celles qui ont été distinguées sous le nom d'*oxide terreux*, et parmi lesquelles les terres sont dans un état de combinaison ou de mélange si intime que l'on ne peut les séparer que par l'analyse chimique, les

fondeurs désignent cependant sous le nom d'oxides de fer terreux tous les minerais qui contiennent des terres en quantité assez considérable pour envelopper de laitier les globules de fonte, et cela parce que le but que l'on se propose principalement est d'employer, pour faciliter la fusion, les terres que contiennent les minerais. Ainsi nous comprendrons également ici, comme mines terreuses, les oxidules de fer, les fers spathiques, les oxides oxidulés, les oxides mamelonnés, les oxides compactes, avec les oxides terreux proprement dits, lorsque les premiers seront souillés d'une quantité de pierre ou de terre assez grande pour qu'ils puissent être considérés dans leur traitement comme des mines terreuses.

Il convient d'observer encore une fois que tout ce qui va être dit sur le traitement des mines terreuses et sur les qualifications qui leur sont données ne doit pas être appliqué au minerai complétement séparé de sa gangue. On ne considérera le minerai que dans cet état particulier où il se trouve lorsque, après le *cassage*, le *lavage*, le *grillage*, *l'exposition à l'air*, etc., il a été déposé à la fonderie, et lorsqu'il est encore mélangé de toutes les impuretés avec lesquelles on le charge ordinairement dans le haut fourneau. Dans cet état il est souvent très différent des échantillons que l'on rassemble dans les cabinets, et que le docimasiste essaie: aussi offre-t-il la plupart du temps des résultats qu'il aurait été impossible de prévoir et de conclure d'après les échantillons de choix sur lesquels souvent on forme des théories plus propres à égarer le fabricant qu'à l'éclairer dans ses opérations.

De la fusibilité des terres et des pierres qui accompagnent les minerais, et de celles qu'on y ajoute comme fondant.

Les oxidules métalloïdes qui s'extraient ordinairement dans les terrains primitifs sont accompagnés de jaspe ou silex ferrugineux, d'asbeste, de feldspath, de hornblende, de grenats compactes, de serpentine, de stéatite, de chaux carbonatée, quelquefois de chaux fluatée; quelques oxidules, exploités dans des terrains bouleversés, sont mélangés d'argile.

Les fers spathiques ont des gangues quartzeuses, micacées, stéatiteuses, schisteuses, argileuses ou calcaires. On y trouve encore de la magnésie, qui est même constituante du fer spathique, mais qui est ici hors de considération, parce que cette terre est enlevée par l'exposition de ces minerais à l'action de l'air et de l'eau, après qu'ils ont été grillés.

Les oxides oxidulés sont accompagnés le plus ordinairement des mêmes substances que les oxides métalloïdes.

Les oxides mamelonnés et les oxides compactes, lorsqu'ils sont en gîtes réglés dans des terrains primitifs, sont encore accompagnés des mêmes substances que les oxides métalloïdes et les fers spathiques, et cela selon la nature des minerais parmi lesquels on les trouve; mais lorsqu'ils ont été transportés par suite de bouleversements, ils sont souvent accompagnés d'argile, de chaux, etc.

Enfin les mines terreuses contiennent des mélanges ou des combinaisons de terres siliceuses, argileuses et calcaires, et très rarement de la magnésie.

Chacune des terres ou des pierres mélangées ou

combinées avec les minerais de fer est différemment fusible. Gerhard est le premier qui ait examiné les degrés de fusibilité des substances terreuses des gangues qui accompagnent les minerais métalliques. (Voyez *Actes de l'académie des sciences de Berlin, année* 1781.) Ses essais ont été faits dans trois sortes de creusets, d'argile, de chaux et de charbon, afin de connaître l'influence des matières des creusets sur les minéraux. Ses creusets ont été exposés au feu d'un fourneau d'essai. Klaproth a depuis répété les expériences de Gerhard dans des creusets d'argile et de charbon, et cela en les exposant dans un four à porcelaine. Comme, dans les hauts fourneaux, les minerais sont continuellement en contact avec du charbon, les seuls essais qui puissent être comparables aux résultats des travaux en grand sont ceux qui ont été faits dans les creusets de charbon. Nous allons donc rapporter ici le tableau des produits obtenus des expériences entreprises par ces deux savans sur les minéraux terreux qui accompagnent les mines de fer.

TABLEAU

NOMS DES SUBSTANCES.	RESULTATS OBTENUS PAR GERHARD.	RESULTATS OBTENUS PAR KLAPROTH.
Quartz.	Infusible.	Infusible.
Jaspe.	Infusible.	Infusible.
Feldspath.	Fondu.	Scorifié.
Hornblende.		Durcie et infusible.
Grenat.	Fondu.	Fondu.
Actinote.		Scorifié.
Asbeste.	Infusible.	Infusible.
— de Groenland.		Scorifié.
— de Taberg.		Scorifié.
Stéatite.	Infusible.	
Talc.	Infusible.	Infusible.
Serpentine.	Peu fusible.	Infusible.
Mica.	Fusible.	Fondu.
Spath fluor (fluate de chaux).	Fusible.	Scorifié.
Schiste argileux.	Fusible.	
Argile.	Plus ou moins fusible.	Scorifiée.
Terre calcaire.	Infusible.	
Spath perlé.		Infusible.
Gypse.	Infusible.	Infusible.

On voit, d'après ce tableau, que, parmi les substances de la gangue qui sont mélangées avec les minerais de fer, le feldspath, les grenats, l'actinote, le mica, la chaux fluatée, le schiste argileux, sont les seuls qui soient fusibles ou *scorifiables*. En effet, les minerais de Presberg, dont la gangue est composée d'actinote et de grenats, sont, au rapport de Garney, très fusibles. On voit encore que l'argile a des degrés de fusibilité différents, et que le quartz, le jaspe, le hornblende, l'asbeste, la steatite, les talcs, la serpentine, la chaux carbonatée, le spath perlé, le gypse, sont infusibles. Ainsi, si chacune de ces substances était seule et séparée dans les minerais, on pourrait facilement distinguer ceux qui seraient fusibles de ceux qui ne le seraient pas, et, d'après cela, séparer les variétés qui peuvent être fondues seules de celles auxquelles on doit ajouter des fondants. Mais le plus souvent les minéraux terreux qui forment la gangue sont mélangés ensemble : alors ils réagissent les uns sur les autres selon la nature des substances qui les composent, et par cette action ils changent leur degré de fusibilité.

Il ne suffit donc pas, pour traiter des minerais différents, de connaître la fusibilité de chacune des substances qui composent la gangue, il faut encore connaître l'action réciproque des substances qui constituent chaque composé. La connaissance de cette action donnera de plus les moyens de former les mélanges les plus propres à favoriser la fusion des terres et des pierres.

On n'a encore fait qu'un très petit nombre d'expériences, par tâtonnements, dans le dessein de déterminer l'action que les divers minéraux terreux ont les uns sur les autres, afin d'appré-

cier leur degré de fusibilité. Les minéraux quartzeux ou à gangue quartzeuse, qui sont infusibles sans addition, fondent assez facilement lorsqu'on leur ajoute du mica, du hornblende, de l'actinote, des grenats, du basalte ou des minerais qui contiennent ces substances; mais on ignore si d'autres additions ne produiraient pas un pareil résultat.

Si l'on ne connaît qu'un très petit nombre d'expériences entreprises pour déterminer l'action que les minéraux terreux composés peuvent avoir les uns sur les autres, pour faciliter leur fusion réciproque, on connaît au moins un grand nombre d'expériences qui ont été faites, d'une part, pour s'assurer de la nature et de la proportion des substances qui entrent dans la composition des différents minéraux terreux, et, d'autre part, pour connaître l'action que les terres exercent les unes sur les autres, d'où l'on peut assez facilement déterminer quels sont les mélanges des minéraux terreux les plus propres à favoriser leur fusion réciproque.

Il convient donc d'exposer d'abord le tableau des analyses qui ont été faites des différents minéraux qui forment la gangue ordinaire des mines de fer, après quoi l'on fera connaître les expériences qui ont été entreprises dans la vue de déterminer les mélanges terreux les plus favorables à leur fusion.

TABLEAU

Digitized by Google

TABLEAU

DE LA COMPOSITION DES SUBSTANCES QUI FORMENT LE PLUS ORDINAIREMENT LES GANGUES DES MINERAIS DE FER.

SUBSTANCES.	silice.	chaux.	alumin.	magn.	OXIDE de fer.	MATIÈRE accidentell.	quantité.	ANALYSTES.
Silex.	0.98		0.09					
Jaspe.	0.75		0 20		0.05			Klaproth.
Feldspath adulaire.	0.64	0.02	0.20			Potasse.	0.14	Vauquelin.
— vert.	0.63	0.03	0.17		0.01	Idem.	0.13	Idem.
— petunt-ze.	0.74	0.055	0.145					Idem.
— commun.	0.65	0.05	0,15			Potasse.	0.14	Idem.
Hornblende.	0.54	0.04	0.27	0.01	0.09			Bergmann.
Idem.	0.57	0.02	0.22	0.16	0.23			Kirwan.
Idem.	0.42	0.10	0.08	0.11	0.23			Laugier.
Grenats de Bohême.	0.40	0.035	0.285	0.10	0.165	Oxide de mangan.	0.0025	Klaproth.
— de Lyra.	0.337		0.272		0.36	Idem.	0.0015	Idem.
Grenats de Bohême.	0.36	0 03	0.22		0.41			Vauquelin.
— rouge du Pic d'Eres-Lids.	0.52	0.077	0.20		0.17			Idem.
— noir.	0.43	0.20	0.16		0.16			Idem.
— jaune.	0.38	0.31	0.20		0.10			Idem.
— noir de Frascati.	0.34	0.33	0.064		0.255			Klaproth.
Actinote.	0.50	0.10	0.01	0.19	0.11	Chrôme.	0.05	Laugier.
Asbeste amiante.	0.59	0.09	0.03	0.25				Chenevix.
Idem.	0.60	0.09	0.03	0.19	0.03			École de Moustiers.
Idem.	0.46	0.06	0.07	0.22	0.08			Idem.

Stéatite.	0.54		0.36		0.0075	Potasse.		Klaproth.
— pagodite.	0.56	0.02	0.29		0.01	Idem.	0.07	Vauquelin.
— commune.	0.48		0.14	0.205	0.01			Klaproth.
Idem.	0.595			0.305	0.025			Idem.
Idem.	0.64		0.05	0.22	0.05			Vauquelin.
Talc graphique.	0.62		0.24		0.05			Klaproth.
— granuleux.	0.50	0.015	0.26		0.05	Potasse.	0.175	Vauquelin.
— commun.	0.62		0.15	0.25	0.034			Idem.
Serpentine.	0.07			0.38	0.15			Viegleb.
— de Corse.	0.23	0.01	0.06	0.36	0.14			Ecole de Moustiers.
Schiste argileux tégulaire.	0.38	0.04	0.26	0.08	0.14			Kirwan.
Argile collyrite.	0.14		0.45			Eau.	0.42	Klaproth.
— cymolite.	0.63		0.23		0.01	Idem.	0.12	Idem.
— plastique.	0.43	0.03	0.33		0.01	Idem.	0.18	Vauquelin.
. . . . .	0.63	0.01	0.16		0.08	Idem.	0.10	Idem.
— feuilletée.	0.66	0.01	0.07	0.01	0.10	Idem.	0.19	Klaproth.
— d'Arcueil.	0.63		0.32		0.04			
— à Porcelaine de Saint-Yriex.	0.62		0.19	0.12				Hassenfratz.
— de Wedgwood.	0.76		0.24					Idem.
— de Lemnos.	0.47	0.054	0.19	0.062	0.054			Bergmann.
— d'Osmonde.	0.60	0.057	0.111	0.050	0.047			Idem.
Chaux carbonatée.		0.55				Eau, acide carbon.	0.11 0.34	Bergmann.
— spath perlé.		0.528				Eau, acide carbon.	0.1056 0.326	Berthollet.
— aluminifère.		0.443	0.059	0.014	0.0074	Acide carbon.	0.46	Saussure.
Chaux sulfatée (gypse).		0.32				Eau, acide sulf.	0.22 0.46	Fourcroy.

DES EXPÉRIENCES ENTREPRISES POUR DÉTERMINER LA FUSIBILITÉ DES TERRES.

Le célèbre Pott paraît être le premier qui ait entrepris des expériences pour déterminer le degré de fusibilité des terres; depuis lui ces mêmes expériences ont été répétées par *Cramer, Gilbert, Poerne, Homberg, Bergmann, Achard, Macquer, Guyton, Kirwan, Klaproth, Gerhard, Chaptal, Tiemann, Lampadius, Lelièvre*. M. Pelouze, alors directeur de la manufacture de porcelaine de Valognes, département de la Manche, s'est aussi livré pour cet objet, en l'année 1798, à une suite d'expériences long-temps continuées, dont on trouvera les principaux résultats dans l'appendice, à la fin de cette deuxième partie.

Ces expériences ont été faites de plusieures manières différentes : 1° par Homberg, Macquer, Lavoisier, Kirwan, à l'aide d'un miroir ardent; 2° par Lavoisier, Erhmann, Guyton, Geyer, avec un chalumeau de gaz oxygéné; 3° par Bergmann, Saussure, Lelièvre, avec un chalumeau d'air atmosphérique; 4° par Darcet, Achard, Klaproth, dans un fourneau de porcelaine; 5° par Achard, Gerhard, Guyton, Kirwan, Chaptal, Tiémann, Lampadius, dans des fourneaux d'essais chauffés à différentes températures. Les essais de M. Pelouze ont eu lieu pour la totalité dans son four à porcelaine, et une partie, parmi ceux qui avaient offert les résultats les plus décisifs, ont été répétés sur l'ouvreau du four à bouteilles de la verrerie de la Garre, près Paris.

Les premières expériences faites dans le fourneau de porcelaine et dans les fourneaux d'essais

présentèrent quelque incertitude, parce que les substances étaient placées dans des creusets d'argile, pour être exposées à la chaleur des fourneaux, et que, dans plusieurs circonstances, la matière des creusets influe sur la fusibilité de plusieurs terres. C'est ainsi que la chaux carbonatée, le gypse, la stéatite, les mélanges de chaux et de magnésie se fondaient en partie dans des creusets d'argile, tandis qu'elles n'éprouvaient aucune action lorsqu'elles étaient isolées.

Gerhard, Klaproth, Lampadius, profitant des notions acquises sur cette action des creusets d'argile, firent leurs essais depuis dans des creusets brasqués avec du poussier de charbon.

En général, lorsque l'on n'a pour but que de comparer la fusibilité des terres entre elles, les expériences faites dans des creusets brasqués donnent des résultats assez exacts; mais lorsque l'on veut connaître l'action des oxides métalliques sur les terres, particulièrement celle de l'oxide de fer, le charbon, pouvant enlever l'oxygène combiné au métal, détruit en partie, souvent même en totalité, l'effet des oxides. Nous allons examiner séparément les résultats que l'on a obtenus, soit en exposant les terres simples à l'action de la chaleur, soit en les combinant dans diverses proportions.

Des terres simples.

Il résulte de toutes les expériences faites jusqu'à présent sur la fusibilité des terres que les quatre simples qui entrent ordinairement dans la composition des gangues des minerais de fer et dans celle des oxides terreux, nommément la silice, la chaux, l'alumine et la magnésie, ne peuvent être

fondues séparément, et lorsqu'elles sont pures, à la plus haute température que nous puissions obtenir dans nos fournaux.

Combinaisons binaires.

Les combinaisons binaires des quatre terres (silice, chaux, alumine, magnésie) sont infusibles dans nos fourneaux, quelles que soient les proportions respectivement employées, un seul cas excepté, le mélange à parties égales de chaux et de silice, qui forme un émail à une chaleur au-dessus de 150e degré du pyromètre de Wedgwood.

Combinaisons ternaires au 150e degré de Wedgwood.

Chaux. Magnésie. Alumine.

1° Le mélange de ces trois terres, dans lequel la magnésie prédomine, n'est jamais fusible au-dessous de 160° de Wegwood.

2° Le mélange dans lequel la chaux prédomine ne se vitrifie que dans le cas où les proportions sont de trois parties de chaux, deux de magnésie et une d'alumine. Les proportions qui approchent de celle-ci peuvent donner des espèces de porcelaine ou d'émail.

3° Les proportions dans lesquelles la quantité d'alumine est égale à celle des deux autres, ou excède l'une des deux dans le rapport de 3 à 1, peuvent former des porcelaines.

Chaux. Magnésie. Silice.

1° Les mélanges dans lesquels la chaux est en excès peuvent être fusibles.

2° Si la magnésie est en excès, aucun mélange ne sera fusible.

3° Si la silice est en excès, les mélanges seront très rarement fusibles.

Alumine. Magnésie. Silice.

1° Si l'alumine est en excès, on ne peut obtenir qu'une porcelaine.

2° Si la magnésie est en excès, on ne peut pas même avoir une fusion imparfaite.

3° Si la silice est en excès, on peut obtenir une porcelaine dans plusieurs cas, et un verre dans celui-ci, savoir, quand les terres sont dans les proportions de trois parties de silice, deux de magnésie et une d'alumine.

Alumine. Chaux. Silice.

1° Si l'alumine est en excès, on peut obtenir, dans plusieurs cas, une porcelaine, mais jamais un verre.

2° Si la chaux est en excès, on peut obtenir un verre, ou une porcelaine, ou une masse infusible, suivant les proportions du mélange.

3° Si la silice est en excès, on peut obtenir souvent un émail, ou une porcelaine, et probablement aussi un verre, car la chaleur donnée dans ces essais n'a pas été considérable.

Combinaisons quaternaires.

Sur cinquante six expériences rapportées par

Achard, vingt-quatre mélanges des quatre terres ont produit un verre transparent, vingt-six ont produit des masses opaques plus ou moins vitrifiées, six ont produit une matière pulvérulente. Les proportions des éléments, dans ces six expériences, sont :

Substances.	1re	2e	3e	4e	5e	6e
Silice,	1	1	1	1	1	1
Chaux,	2	1	3	3	3	3
Alumine,	1	2	1	2	1	3
Magnésie,	2	2	1	2	3	3

Lampadius (*Journal des mines*, tome 18) rapporte trois expériences d'essais de fusion du mélange des quatre terres, dans lesquelles les proportions étaient :

Substances.	1re	2e	3e
Silice,	1	1	1
Chaux,	1	3	3
Alumine,	1	2	2
Magnésie,	1	1	2

Ces mélanges ont été mis dans des creusets brasqués : le premier a produit une espèce de porcelaine ; le deuxième et le troisième étaient complétement fondus.

Quant aux autres combinaisons terreuses essayées par Lampadius, dans des creusets brasqués, voici les résultats qu'il rapporte :

Les terres pures, essayées séparément, sont infusibles ; les alliages des terres combinées deux à deux montrent déjà une tendance à la fusion,

mais peu fondent réellement; les alliages des diverses terres combinées entre elles trois à trois fondent pour la plupart, principalement ceux qui contiennent de la chaux, de l'alumine et de la silice; la magnésie les rend tous moins fusibles.

Ces résultats, utiles aux maîtres de forges, en ce qu'ils les mettent à même de connaître les mélanges de terre ou de gangue qui sont propres à favoriser la fusion des minerais qu'ils ont à traiter, et à produire des laitiers plus ou moins tenaces, ne procurent des données exactes, sur la fusibilité des terres, qu'autant qu'elles sont pures; mais, dans les minerais de fer, les terres sont mélangées ou combinées avec des oxidules et des oxides de fer. Il est donc bon, il est même indispensable au maître de forges, de connaître l'action que doit avoir l'oxide de fer sur les terres, relativement à leur fusibilité.

Achard a fait un grand nombre d'expériences sur la fusion des terres avec l'oxide de fer. Tiémann, Chaptal, en ont déduit les conséquences que, dans les mélanges des quatre terres avec l'oxide de fer, on peut observer :

1° Que celui où la chaux vive est à l'oxide de fer dans le rapport de 9 à 1, de 3 à 1, de 2 à 1, forme une espèce de fritte à une chaleur de 130 degrés de Wedgwood, et attaque le creuset; il devient très fusible si l'on augmente la proportion de l'oxide de fer.

2° La magnésie et l'oxide de fer n'ont aucune action réciproque, quand le mélange est fait à parties égales; mais lorsque l'oxide de fer est à la magnésie dans la proportion de 4 à 1, le mélange se fond complétement. La fusion est imparfaite quand les deux substances sont dans le rapport de fer 1 et magnésie 4.

3° L'alumine et l'oxide de fer n'offrent aucune apparence de fusion à une chaleur de 166° de Wedgwood, lors même que ces deux substances sont mêlées à parties égales; mais quand l'oxide de fer est à l'alumine, soit dans le rapport de 4 à 3, soit dans celui de 2 à 1, les mélanges sont fusibles à ce degré de chaleur.

4° La silice et l'oxide de fer paraissent être infusibles toutes les fois que la silice est en excès; mais, dans les cas contraires, leur mélange est fusible.

D'après une belle suite d'expériences faites par Lampadius, sur la fusion du mélange des terres avec les oxides métalliques, ce savant métallugiste conclut « que les oxides métalliques exer-« cent une action dissolvante plus ou moins grande « sur les terres. L'oxide de plomb paraît posséder « cette action au plus haut degré; vient ensuite « celui du fer, puis celui de cuivre, et enfin celui « d'étain. L'alumine est la terre qui se dissout le « plus facilement dans les oxides, puis et succes-« sivement la silice, la chaux, la magnésie. Ici « l'on voit que les alliages qui contiennent de « l'oxide de fer ou de cuivre fondent plus aisé-« ment dans les creusets d'argile, et ceux de « plomb et d'étain dans des creusets brasqués. » (Voyez *Journal des mines*, tome 18.)

Dans toutes les expériences dont on vient de rapporter les résultats, on a considéré l'action du fer exercée sur les terres pures, sur les mélanges des différentes terres, et sur ceux de ces dernières avec les oxides métalliques; mais l'état sous lequel se trouvent les substances que l'on a soumises à l'expérience est rarement semblable à celui dans lequel on opère dans une exploitation. Les oxides de fer, jetés dans le fourneau avec du

charbon, s'entremêlent avec le combustible. En s'échauffant, le charbon, en contact avec le minerai, s'empare de son oxygène, et le réduit, de manière que, lorsqu'il arrive dans l'ouvrage, où il subit la température propre à fondre le métal et les terres, il est en grande partie désoxidé. C'est donc avec de la fonte de fer presque pure, ou du fer carburé et faiblement oxidé, que les terres se trouvent mélangées ou combinées lorsqu'elles se fondent: ainsi, pour comparer les essais avec les effets des hauts fourneaux, il faut placer l'oxide de fer et les terres dans une circonstance semblable ou analogue. C'est ce que les professeurs ont bien senti à la ci-devant école de Moustiers. Pour avoir des résultats analogues à ceux du haut fourneau, ils ont fait mêler à de l'oxidule de fer soit des terres pures et seules, soit des terres mélangées deux à deux, trois à trois, etc. On a imbibé d'huile ces mélanges, afin de procurer à l'oxidule de fer le carbone nécessaire pour le réduire. Ces mélanges ont été placés dans des creusets brasqués et recouverts de charbon. Chaque creuset a été recouvert ensuite avec un autre creuset, et luté avec de l'argile très réfractaire. Ces creusets ont été introduits dans le fourneau d'essai de l'école, où ils ont éprouvé la température propre à fondre le minerai désoxidé. Voici les résultats de ces expériences.

EXPÉRIENCES FAITES SUR LA FUSION DES TERRES AVEC DES OXIDES DE FER IMBIBÉS D'HUILE.

ESSAIS DE L'OXIDULE PUR.

1. Oxidule de fer de l'île d'Elbe, 5 grammes recouverts de quelques cristaux de quartz.

On a obtenu un culot de fer pesant 3 gr. 55.
Des scories 0 - 20.

2. Oxidule de fer plus pur.

On a obtenu un culot de fer pesant 3 gr. 74.
Donc le produit est de 0.748. C'est cette variété que l'on a employée dans tous les essais suivants.

ESSAIS D'OXIDULES ET DE TERRES PURES ET SÉPARÉES.

	gr.	
3. Oxidule de fer.	4 20.	Ont produit une masse recouverte de gros grains de fer bien réduits, entremêlée de semblables grains. La terre était friable, grenue, de couleur grise. Le tout pesait 3 gr. 50.
Chaux pure.	0 80.	
	5	
4. Oxidule de fer.	4 20.	Ont produit une masse grisâtre, recouverte et entremêlée de grains de fer, comme la première; elle était également pulvérulente. Elle pesait 3 gr. 82.
Silice pure.	0 80.	
	5	
5. Oxidule de fer.	4 20.	Ont produit une masse noire, pulvérulente, recouverte et mélangée de grains de fer, pesant 3 gr. 55.
Magnésie pure.	0 80.	
	5	
6. Oxidule de fer.	4 20.	Ont produit une masse brune, peu adhérente, recouverte et mélangée de petits grains fins, brillants et lamelleux. Un accident a fait perdre une partie de la substance. Le culot ne pesait que 2 gr. 24.
Alumine pure.	0 80.	
	5	

ESSAIS DE TERRES MÉLANGÉES DEUX A DEUX.

		gr.	
7.	Oxidule de fer.	4	Ont produit une masse noirâtre, peu agglutinée, parsemée et recouverte de petits grains de fer brillants et écailleux; le tout pesant 4 gr. 50.
	Chaux pure.	1	
	Silice pure.	1	
		6	
8.	Oxidule de fer.	4	Ont produit une masse verdâtre, opaque, boursouflée, assez adhérente, recouverte et parsemée de grains métalliques; le tout pesant 4 gr. 20.
	Chaux pure.	1	
	Alumine pure.	1	
		6	
9.	Oxidule de fer.	4	Ont produit une masse gris foncé, assez adhérente, irisée dans l'intérieur, recouverte de grains métalliques. Elle pesait 4 gr. 50.
	Chaux pure.	1	
	Magnésie pure.	1	
		6	
10.	Oxidule de fer.	4	Le creuset ayant fondu, la masse obtenue était altérée: c'était une scorie noirâtre, recouverte de quelques grains métalliques, pesant 2 gr. 40.
	Silice pure.	1	
	Magnésie pure.	1	
		6	
11.	Oxidule de fer.	4	Ont produit un petit culot de fer, enveloppé d'une scorie vitreuse, couverte de petits grains de fer; le tout pesant 4 gr. 50.
	Silice pure.	1	
	Magnésie pure.	1	
		6	
12.	Oxidule de fer.	4	Ont produit une petite masse grise très friable, ne laissant rien apercevoir qui eût l'éclat métallique. Une petite partie est restée dans la brasque; le reste pesait 4 gr. 14.
	Alumine pure.	1	
	Magnésie pure.	1	
		6	

ESSAIS D'OXIDULE AVEC LES TERRES PURES MÉLANGÉES TROIS A TROIS, EN PARTIES ÉGALES.

		gr.		
13.	Oxidule de fer.	6	Ont donné un culot de fer bien réduit et bien réuni, pesant	4 gr. 18.
	Chaux pure.	1	Plus, une scorie sphérique ressemblant à de la porcelaine, couverte de quelques grains de fer, pesant	2 54.
	Silice pure.	1		
	Alumine pure.	1		
		9		6 72.

14.	Oxidule de fer.	6	Ont produit un culot de fer bien réduit et bien réuni, pesant	4 gr. 32.
	Chaux pure.	1	Plus, une scorie noire et vitreuse, bien séparée, pesant	2 38.
	Silice pure.	1		
	Magnésie pure.	1		
		9		6 70.

15.	Oxidule de fer.	6	Ont donné une masse boursouflée : on n'a point trouvé de culot réuni. Cette expérience recommencée a donné le même résultat.
	Chaux pure.	1	Le 1er produit pesait 6 gr. 25.
	Alumine pure.	1	Le 2e pesait 6 27.
	Magnésie pure.	1	
		9	

16.	Oxidule de fer.	6	Ont produit un culot de fer bien réduit et bien réuni, pesant	4 gr. 40.
	Silice pure.	1	Et une scorie vitreuse, sphérique, bien séparée, pesant	2 50.
	Alumine pure.	1		
	Magnésie pure.	1		
		9		6 90.

ESSAI D'OXIDULES AVEC LES QUATRE TERRES RÉUNIES A PARTIES ÉGALES.

17. Oxidule de fer.	8	Ont produit un culot de fer bien réduit et bien réuni, pesant	5 gr.	76.
Chaux pure.	1	Et une scorie vitreuse, un peu boursouflée, pesant	3	93.
Silice pure.	1			
Alumine pure.	1			
Magnésie pure.	1			
	12		9	69.

On a vu, dans la première partie de cet ouvrage, où l'on traite des minerais de fer, et où on a réuni un grand nombre d'analyses de chaque variété et sous-variété de minerai, que plusieurs contiennent de l'oxide de manganèse, particulièrement les fers spathiques, les oxides bruns, etc.; que, parmi ces minerais, il en est qui contiennent jusqu'à 0.18 de cet oxide : tel était par exemple un échantillon de fer spathique d'Allevard; un échantillon de fer mamelonné de l'Arriége en contenait 0.16; l'oxide de fer compact de la Voûte en contenait 0.12, etc., etc. Puisque, d'après les expériences de Lampadius, les oxides métalliques ont une si grande influence sur la fusion des terres, il devait être intéressant, pour le travail du fer, de déterminer quel effet l'oxide de manganèse produisait dans la fusion des terres: en conséquence, à l'école pratique de Moustiers, on a entrepris quelques expériences dont on rapporte ici les résultats.

Ces expériences ont été faites de la même manière que celles des terres : on a mêlé ensemble

de l'oxide de fer, de l'oxide de manganèse et des terres pures; les mélanges ont été imbibés d'huile et placés dans des creusets brasqués; ils ont ensuite été couverts de charbon, et le creuset a été lui-même recouvert d'un autre creuset luté avec une argile très réfractaire.

Comme on avait reconnu, par les expériences précédentes, que les terres mélangées trois à trois pouvaient se fondre et permettre au culot de fer de se former, on s'est contenté de déterminer l'influence de l'oxide de manganèse sur les terres isolées et sur les terres mélangées deux à deux, qui n'avaient pas pu être fondues avec l'oxidule de fer seul.

ESSAIS SUR LA FUSION DES TERRES MÉLANGÉES AVEC DE L'OXIDULE DE FER ET DE L'OXIDE DE MANGANÈSE.

TERRES MÉLANGÉES UNE A UNE.

		gr.	
	Oxidule de fer	4	Ont produit un culot de fer assez gros, ainsi qu'une masse verdâtre, friable, mélangée de plusieurs petits grains de fer; le tout pesant 3 gr. 90.
	Oxide de manganèse	1	
	Chaux pure	1	
		6	
2.	Oxidule de fer	4	Ont produit un culot de fer enveloppé d'une scorie grise-olivâtre dure. Le culot pesait 2 gr. 99. La scorie 1 70. — 4 69.
	Oxide de manganèse	1	
	Silice pure	1	
		6	
3.	Oxidule de fer	4	Ont produit une masse gris-noirâtre, remplie de grains de fer plus ou moins gros; le tout pesant 4 gr. 30.
	Oxide de manganèse	1	
	Magnésie pure	1	
		6	
4.	Oxidule de fer	4	Ont produit une masse friable, d'un gris olivâtre, parsemée de grains de fer, dont deux un peu plus gros; le tout pesant 4 gr. 30.
	Oxide de manganèse	1	
	Alumine pure	1	
		6	

TERRES MÉLANGÉES DEUX A DEUX.

5.	Oxidule de fer	4	Ont produit un culot bien formé et quelques grains, lesquels, réunis, pesaient 2 gr. 90. Plus, une scorie dure, boursouflée, olivâtre, pesant 2 80. — 5 70.
	Oxide de manganèse	1	
	Chaux pure	1	
	Alumine pure	1	
		7	

Oxidule de fer	4	Ont produit un culot bien formé et bien rassemblé; il pesait	2 gr. 88.
Oxide de manganèse	1		
Silice pure	1		
Magnésie pure	1	Il était environné de scories olivâtres, dures et compactes, sans être vitreuses, pesant	2 gr. 54.
	7		5 42.

7. Oxidule de fer	4	On produit un culot bien formé et bien rassemblé, qui s'est détaché sans choc; il pesait	3 gr. 07.
Oxide de manganèse	1		
Silice pure	1		
Chaux pure	1	La scorie détachée était vitreuse, transparente, couleur orangée, avec des taches olivâtres; elle pesait	2 42.
	7		5 49.

8. Oxidule de fer	4	Ont produit une masse terreuse, gris-olivâtre, peu cohérente, parsemée de grains de fer de différentes grosseurs; quelques uns étaient un peu gros : le tout pesait	5 gr. 51.
Oxide de manganèse	1		
Chaux pure	1		
Magnésie pure	1		
	7		

9. Oxidule de fer	4	Ont produit un culot bien formé et bien rassemblé, pesant	2 gr. 65.
Oxide de manganèse	1		
Silice pure	1		
Alumine pure	1	Il était environné d'une scorie vitreuse, vert-olive, recouverte d'une pellicule noire, parsemée de globules, et pesant	2 gr. 31.
	7		4 96.

10. Oxidule de fer	4	Ont produit une masse noire, adhérente, et parsemée de quelques grains de fer, dont un assez gros; le tout pesant	5 gr. 15.
Oxide de manganèse	1		
Alumine pure	1		
Magnésie pure	1		
	7		

Il résulte de ces essais,

1° Que la silice a beaucoup plus d'affinité avec l'oxide de manganèse que les autres terres, puisque, dans l'expérience n° 19, cet oxide l'a fait fondre, et que le culot de fer a pu en être séparé, tandis que la chaux, l'alumine et la magnésie, dans les expériences 18, 20 et 21, n'ont pas fondu, et que le culot de fer n'a pu ni se former ni se séparer;

2° Que partout où la silice et l'oxide de manganèse se sont trouvés mélangés avec une autre terre, ils ont fait fondre cette dernière, ainsi que le prouvent les expériences 23, 24 et 26; et que le mélange de chaux pure, d'alumine pure et d'oxide de manganèse, n° 22, a également fondu, tandis que ceux de chaux et de magnésie, d'alumine et de magnésie avec l'oxide de manganèse, n°s 25 et 27, ne sont pas entrés en fusion, et n'ont pas permis au culot de se séparer;

3° Que, dans la fusion de l'oxide de fer, de l'oxide de manganèse et des terres, l'oxide de manganèse se combine de préférence avec ces dernières, et que très peu de ce métal reste combiné avec le fer: car l'espèce d'oxide de fer que l'on a employé dans tous ces mélanges rendait, d'après un essai particulier, 0.728 de métal et un peu de scories, d'où il suit que les 4 grammes mélangés dans les dix dernières expériences auraient dû produire 2 grammes 91 de fer. Or, dans l'expérience n° 19, dans laquelle le mélange ne contenait que de l'oxidule de fer, de l'oxide de manganèse et de la silice, le culot obtenu pesait 299; en supposant que les scories n'eussent point entraîné de fer, la quantité de manganèse retenue ne serait que de 0.08, donc de 0.027 de la quantité du fer. Les scories et le culot de fer ayant été ana-

lysés, on a trouvé très peu de manganèse dans le fer, et très peu de fer dans les scories.

Dans les autres expériences, il paraît être encore moins resté de manganèse dans le fer.

M. l'ingénieur Boullanger se chargea de l'analyse des culots de fer fondus avec de l'oxide de manganèse et des terres : il n'y a trouvé qu'une quantité de manganèse très peu sensible.

Des expériences ci-dessus il résulte que, quelle que soit la composition des pierres de la gangue ou la nature des terres combinées dans le minerai, on peut toujours rendre ces terres fusibles en y en ajoutant deux autres : 1° de l'argile composée de silice et d'alumine ; de la serpentine ou de la stéatite, composée de silice et de magnésie, si la terre mélangée ou combinée est de la chaux ; 2° de la marne, composée de chaux et d'alumine, si la gangue ou la terre mélangée est de la silice ; 3° de l'argile, si la terre mélangée ou combinée est de la silice ; 4° de la stéatite ou de la serpentine, si la terre mélangée est de l'alumine.

Mais, comme il arrive rarement que les terres mélangées ou combinées avec l'oxide de fer soient seules, on peut alors compléter la proportion nécessaire à la fusion par l'addition de la terre qui manque.

Plusieurs métallurgistes divisent les minerais de fer en quatre classes, relativement à la terre dominante : ils les nomment *mine siliceuse, mine calcaire, mine alumineuse et mine magnésienne.* Cette dénomination, qui semble propre à faire connaître la nature des fondants à ajouter au minerai, peut être tolérée lorsque les terres dominantes sont bien décidément celles dont les mines portent le nom, et que ce sont celles qu'il faut corriger ; cependant il vaudrait mieux adopter des divisions et des dénominations plus méthodiques.

Jusqu'à présent, les maîtres de forges se sont contentés d'ajouter à leurs minerais, pour les faire fondre, 1° de la pierre à chaux ou de la marne, sous le nom de *castine ;* 2° de l'argile, sous le nom d'*herbus*. Mais ces substances, bonnes et utiles dans le plus grand nombre de cas, ne sont pas les seules que l'on puisse employer, comme il est facile de le conclure du grand nombre d'expériences que l'on vient de rapporter, relativement à la fusibilité des terres; il y a même des pays où l'on est plus avancé dans cette connaissance. Dans le Val-d'Aoste, par exemple, on mêle avec l'oxidule que l'on y traite un sable qui contient de la silice, de la magnésie et quelques autres terres; en Suède, dans quelques circonstances, on ajoute, comme fondants, aux minerais que l'on y traite, des micas, des hornblendes, des actinotes, des grenats, des basaltes. Cependant la pierre calcaire est la substance que l'on emploie de préférence dans le plus grand nombre de cas.

La question relative aux fondants n'est pas du tout indifférente : car souvent il résulte de la nature et de la proportion de ceux qu'on emploie des différences considérables dans les quantités de charbon consumées, dans le poids et dans la qualité des fontes obtenues.

Lorsque les minerais contiennent du manganèse, le fondant le plus convenable est la silice, lorsque la gangue ou le minerai n'en contient pas déjà suffisamment. Si la silice se trouvait en proportion trop considérable, on pourrait y ajouter de la chaux.

Lorsqu'il y a à la proximité d'un fourneau plusieurs variétés de minerais, dans lesquels la nature et la proportion des terres qui composent leurs gangues ou qui y sont combinées avec l'oxide

de fer diffèrent les unes des autres, il devient avantageux, comme on l'a déjà dit, de mélanger les minerais, si toutefois on peut, par ce mélange, obtenir une composition de terres favorable à la fusion, et dans une proportion telle que le volume des scories soit environ de trois à cinq fois celui du fer : on utilise, par ce moyen, des minerais que souvent on aurait été obligé d'abandonner, parce qu'ils n'auraient pu être traités séparément qu'avec perte. Il faut, lorsque l'on veut mélanger des minerais, s'assurer d'avance s'ils donnent du fer d'une bonne qualité : car on doit éviter avec soin, dans ces mélanges, d'employer des fondants qui puissent rendre le fer aigre, brisant ou cassant.

Il résulte un second avantage du mélange des minerais : c'est que, très souvent, des espèces ou des variétés qui auraient donné séparément des fontes défectueuses se servent réciproquement de correctifs les unes aux autres, et que la fonte qui en résulte produit des fers de bonne qualité.

Les maîtres de forge sont depuis long-temps tellement convaincus de l'avantage des mélanges de minerais, que souvent ils envoient chercher très loin et à grands frais des variétés qui puissent favoriser le travail de celles qu'ils ont à leur proximité. Il est même des cas où c'est un tort consacré par l'usage : car, dans plusieurs circonstances, le mélange est inutile, et le minerai éloigné pourrait être suppléé par une addition de terres, au moins sous le rapport de facilité de la fusion.

Toutes les expériences qui ont été entreprises sur la fusibilité des terres, et dont on a rapporté les résultats, avaient pour objet de déterminer la nature et les proportions de celles qui sont le plus

favorables à la fusion ; mais il ne suffit pas toujours, en traitant un minerai, d'avoir obtenu un mélange de terres fusibles, il faut encore que le mélange soit tel qu'il favorise la quantité et la qualité de la fonte qu'on veut obtenir.

Lorsque les laitiers, quoique fondus, sont trop pâteux, trop tenaces, ils forment, en recouvrant le bain, un massif si résistant, que la fonte qui coule par petites portions ne peut le pénétrer. Les grosses gouttes parviennent bien à rompre la ténacité et à s'ouvrir un passage ; mais les gouttes plus petites restent sur le laitier ; elles sont entremêlées avec lui, et celui-ci, en sortant par la tympe, entraîne des globules de fonte plus ou moins gros, que l'on ne peut séparer qu'à l'aide d'un bocard ou d'un gros marteau : ces sortes de laitiers sont très vicieux, à cause de la perte qu'ils occasionent, et par le travail qu'ils nécessitent.

Mais ces laitiers secs, pâteux, tenaces, ont un second désavantage encore plus fâcheux : c'est qu'ils s'attachent aux parois du fourneau, et qu'ils finissent, en s'accumulant, par l'engorger.

Lorsque le mélange terreux est très fusible, souvent il fond avant que le métal ne soit entièrement désoxidé, et il dissout de l'oxide de fer en plus ou moins grande proportion ; souvent encore il se sépare du métal fondu, et s'écoule séparément, de manière que les globules de fonte, en passant devant la tuyère, présentent leurs surfaces nues à l'action du vent, qui les oxide et les brûle : alors ils tombent à travers la masse des scories liquides, après avoir été oxidés en partie. Le laitier liquide que la fonte traverse dissout, dans le passage de celle-ci, une proportion plus ou moins grande de fer oxidé, et le reste, en tombant dans le bain, contribue à décarboner la fonte et à la blanchir.

Un autre inconvénient des laitiers trop liquides, c'est que, parmi ceux qui s'écoulent à travers les charbons, une grande partie tombe sur les étalages; ils exercent leur action fondante sur la matière terreuse dont ces étalages sont formés, et les corrodent; en coulant ensuite sur les faces de l'*ouvrage*, ils corrodent celles-ci. Le laitier qui recouvre la fonte et qui remplit le creuset y exerce également son action fondante; il ronge, corrode les terres dont le creuset est formé, et il en agrandit l'espace. Le fourneau se trouve alors promptement dégradé, il cesse de fondre avec avantage, et l'on est obligé d'arrêter le travail.

Le laitier, pour être d'une bonne qualité, doit avoir une fusibilité telle qu'il ne commence à fondre que lorsque le minerai est entièrement désoxidé, ou au moins très avancé dans sa désoxidation, et qu'il est même carbonisé au degré qu'il convient; il faut de plus que, lorsqu'il est fondu, il conserve une telle viscosité qu'il reste toujours adhérent, et qu'il enveloppe le morceau de minerai dans lequel la matière terreuse était mélangée ou combinée; il faut encore, lorsque le métal est fondu, et que les morceaux se divisent entre les charbons, qu'il reste sur chaque goutte de métal une assez grande quantité de laitier pour recouvrir toute sa surface et la préserver de l'action oxidante de l'air, lorsque les globules passent devant la tuyère; il faut, enfin, que cette viscosité soit telle cependant que les globules métalliques puissent rompre l'adhésion du laitier, et passer à travers la couche qui recouvre le bain de fonte pour se réunir à la masse de métal qui s'est déjà rassemblée au fond du creuset.

DE LA FUSION DES MINERAIS DE FER.

Le travail d'un haut fourneau exige, dans chaque pays, une quantité d'ouvriers plus ou moins grande; mais ils doivent toujours être au nombre de cinq au moins, savoir :

Un maître-fondeur, ou garde-fourneau,
Deux aides-fondeurs,
Deux chargeurs.

Les trois premiers ouvriers restent dans le bas du fourneau, surveillent la fusion, les machines soufflantes et tout le travail de la fonte et des laitiers. Les deux autres se tiennent dans le haut, et ne sont occupés que de l'approche et de la charge des matières, c'est-à-dire de l'alimentation du fourneau.

Dans quelques fonderies, on a trois ouvriers pour le chargement du fourneau, et un quatrième pour trier, cribler le charbon, emplir les paniers, etc., ce qui porte à sept le nombre des ouvriers employés au travail d'un haut fourneau.

Afin de décrire ces opérations avec plus d'ordre et de précision, il convient de le diviser en cinq sections : 1° de la préparation du fourneau; 2° de sa mise en feu; 3° du travail qu'il exige; 4° de l'indice de la marche du fourneau et des corrections que l'on peut y apporter; 5° des accidents, des repos et de la *mise hors*.

De la préparation du fourneau.

Lorsque le fourneau est construit ou réparé, et qu'il doit être mis en feu, il faut, avant tout,

faire provision de charbon, de minerai et de fondants, afin de ne pas s'exposer à des interruptions qui pourraient être occasionées par le défaut d'arrivage de ces matières.

Le charbon ne gagne pas à être approvisionné long-temps à l'avance, mais il n'en est pas de même du minerai: il convient de l'amonceler auprès des hauts fourneaux, où il reste exposé à l'action de l'air et des météores aqueux. L'expérience a prouvé qu'une telle exposition améliore toujours les minerais, qui d'ordinaire deviennent plus fusibles.

Le fourneau, quoique élevé au-dessus du sol, peut être lui-même dominé par d'autres élévations, et dans ce cas on pratique un chemin droit ou peu incliné qui conduit sur la plate-forme.

Quand cette circonstance n'a pas lieu, c'est-à-dire que le fourneau est en plaine, on établit avec des madriers une espèce de rampe pour l'accession de cette plate-forme, laquelle a une inclinaison telle que le roulement des brouettes puisse être pratiqué. Nous ne nous arrêterons pas au surplus à indiquer les moyens variés d'approche des matériaux qui peuvent être employés suivant les localités et des circonstances particulières.

Le charbon se mesure et se transporte dans des paniers appelés *rasse*, *van* ou *corbeille*. La forme de ce panier est ordinairement celle du van dont on se sert pour le grain; il est construit avec des brins d'osier ou des lames de bois de chêne. Les dimensions de ces paniers sont très variables, et elles importent peu pourvu qu'on ait attention à la somme totale du charbon mesuré. Le minerai et les fondants se mesurent dans des mesures de bois.

A mesure que le charbon brûle dans le four-

neau, la charge descend, ce qui forme un vide dans le gueulard; et lorsque ce vide est devenu assez considérable pour admettre une nouvelle charge, on y procède. Pour connaître la grandeur de l'espace vide, le chargeur se sert d'une barre de fer coudée à équerre. Cet instrument est appelé *bécasse*. A l'aide de cette jauge, que l'on plonge de temps en temps dans la capacité du fourneau, par le gueulard, le chargeur s'assure de l'instant où la charge est assez descendue.

Le chargeur doit être actif et doué d'une certaine intelligence. Il ne lui suffit pas de jeter à tout hasard les matières dans le fourneau : il doit veiller à ce qu'elles soient réparties le plus également possible; il doit les comprimer, afin de remplir les espaces vides qui peuvent s'être formés, et qui occasionent de grands dommages; il faut tâcher que la charge descende uniformément. L'instrument avec lequel on exécute cet arrangement, cette compression, est de bois : on le nomme *masse*.

Les fondeurs et aides-fondeurs, qui se tiennent dans la partie basse du fourneau, ont, pour leur travail, 1° de gros leviers de fer connus sous le nom de *ringards* : ces leviers ont depuis quatre jusqu'à dix pieds de long, et pèsent de 15 à 60 livres; on les appuie sur une barre crénelée placée devant le fourneau, pour en faciliter le jeu; 2° des crochets pour retirer les scories et les matières infusibles qui s'attachent aux parois; 3° une spatule en fer, que l'on nomme *torchette* dans quelques endroits, et dont on se sert pour réparer l'ouverture de la tuyère, et une autre barre qui sert à boucher le trou de la coulée; 4° une pioche triangulaire à laquelle on donne le nom de *charrue*; des bèches et quelques pelles pour

creuser dans le sable et arranger le moule dans lequel on doit couler la fonte; 5° des verges de fer coudées, dont le bout est droit ou circulaire, pour former le numéro de la gueuse; 6° des rouleaux et des leviers pour transporter la gueuse, et dans quelques endroits un petit charriot pour transporter les saumons; 7° une romaine pour peser la fonte.

Le placement de la tuyère est à juste titre considéré comme un objet de très grande importance pour le succès du fondage.

On connaît sous le nom de tuyère une espèce d'appareil au moyen duquel l'air est introduit dans les hauts fourneaux. Ordinairement sa forme est celle d'un cône tronqué. On nomme *pavillon* la base de cette moitié de cône, qui est elle-même un demi-cercle; et la troncature du cône, c'est-à-dire l'ouverture par laquelle l'air entre dans le fourneau, se nomme l'*œil*.

Ce demi-cône varie dans ses dimensions, suivant celles du fourneau auquel il est appliqué. Sa longueur est ordinairement entre 8 et 15 pouces; le diamètre du pavillon entre 8 et 18 pouces, et sa hauteur entre 4 et 8 pouces; le diamètre de l'*œil* ou de la *bouche* entre 18 et 40 lignes, et sa hauteur entre 10 et 24 lignes. Le plus souvent cette partie est taillée en langue de carpe.

Cette forme conique très obtuse que l'on donne aux tuyères est nécessaire, lorsque l'air est lancé par deux soufflets à la fois, dont les buses sont placées dans la tuyère; mais lorsque les machines soufflantes ne portent qu'une seule buse, les tuyères n'ayant plus besoin d'une aussi grande largeur, on peut leur donner une autre forme.

En considération du besoin que l'on a de faire agir plus ou moins d'oxygène à la sortie de la

tuyère, plusieurs personnes se sont occupées des formes les plus convenables à donner à la tuyère. Oreilly, dans ses *Annales des arts et manufactures*, a offert à cet égard des conseils qui sont bien raisonnés, si l'on considère le fourneau comme vide; mais il n'en est pas ainsi : le minerai et le charbon qui en occupent en partie la capacité ne permettent guère de calculer le jeu du courant d'air lancé. Ce courant d'air est réfléchi sur un grand nombre de points : cette déviation est telle qu'il est bien difficile de prévoir d'avance la forme du faisceau d'air. Oreilly conseillait de donner à la tuyère la forme d'un tube conique, dont les deux diamètres du pavillon et de la bouche seraient 5 pouces et 3 pouces. Il conseillait d'ailleurs de faire terminer la bouche ou l'œil de trois manières différentes, relativement à la forme que l'on voudrait donner au jet lancé dans le fourneau. Si ce jet doit être cylindrique, il faut, disait-il, prolonger la bouche de la tuyère par un tube cylindrique de plusieurs pouces de long, et dont le diamètre soit celui de la troncature du cône; si le jet ne doit avoir qu'une faible convergence, la bouche n'est pas susceptible de variation; mais s'il doit converger et diverger ensuite dans le creuset, on doit rétrécir la bouche de la tuyère, et l'on en forme un nouveau cône tronqué, placé sur le premier, et dont l'angle au sommet est beaucoup plus grand.

Les tuyères sont faites d'argile, de tôle forte, de fonte ou de cuivre. Celles en fonte, en fer ou en cuivre, sont préférables en ce qu'il est possible de les enfoncer et de les faire saillir plus ou moins dans le fourneau. Quant aux changements d'inclinaison que le fondeur juge convenable de leur

donner, on ne peut y parvenir qu'en les déplaçant et les replaçant de nouveau.

Les tuyères de cuivre sont principalement employées dans les fourneaux d'affinage ; elles seraient sujettes à fondre dans les hauts fourneaux ; ici on préfère les tuyères en tôle.

La hauteur à laquelle se place la tuyère au-dessus du fond du fourneau dépend en grande partie des dimensions du creuset, de la quantité de fonte et de scories que l'on y accumule. Cette hauteur varie ordinairement entre 12 et 24 pouces. Dans les hauts fourneaux à couler des canons, elle est beaucoup plus considérable.

On fixe ordinairement la direction de la tuyère de manière à faire passer son axe par la verticale menée du milieu du gueulard au fond du creuset ; quelquefois cependant, mais rarement, on l'approche un peu plus de la dame. La tuyère peut donc être placée horizontalement, ou inclinée vers le bas, ou inclinée vers le haut. Ces directions sont déterminées par la fusibilité du minerai et la nature du fer qu'on veut obtenir. Garney dit que, lorsque le minerai est d'une fusibilité moyenne, on peut placer la tuyère horizontalement, inclinée vers le haut s'il est d'une fusion difficile, inclinée vers le bas, au contraire, si le minerai est très fusible. Ces trois inclinaisons produisent des effets différents.

La tuyère inclinée vers le haut donne à l'air qu'elle lance dans le fourneau une grande vitesse, et il arrive sur le point où la chaleur doit être la plus grande, c'est-à-dire dans les étalages, en conservant encore une grande quantité de son oxygène : il peut donc y élever la température à un très haut degré.

La tuyère horizontale ne laisse à l'air qu'une

vitesse ascensionnelle moins grande; elle fait consumer une plus grande quantité d'oxygène dans l'*ouvrage*, et lorsque le minerai fondu passe dans le vent de la tuyère, une partie peut s'y oxider, si les gouttes liquides ne sont pas environnées d'une couche de laitier assez épaisse.

En inclinant la tuyère par en bas, on diminue le mouvement ascensionnel de l'air encore davantage; il ne parvient aux étalages qu'une quantité d'oxygène beaucoup moins grande, et il s'y produit moins de chaleur; mais cet air, dirigé sur le laitier, le pénètre et parvient souvent jusqu'à la fonte, la purifie et l'amène à un degré d'affinage très prochain de l'état de fer. Il paraît même qu'il résulte de cet effet un grand avantage : il ameliore la fonte, l'affine, et empêche que le fer qui en provient ne soit brisant à chaud et cassant à froid. C'est le sentiment de Garney.

Lorsque les minerais produisent des fontes difficiles à purifier, auxquelles il est nécessaire de faire subir un premier degré d'affinage avant de les couler, on peut, pour y parvenir dans les creusets des hauts fourneaux, donner à la tuyère deux inclinaisons successives : d'abord on l'incline par en haut, afin de faciliter la fusion des minerais; ensuite, lorsque le creuset est sur le point d'être rempli, on peut, au moyen de quelques scories qu'on attache à la bouche de la tuyère, changer la direction du vent, l'incliner par en bas et faire agir le vent sur le bain de matière fondue, pour en commencer la purification. L'ingénieur en chef Bonnard a décrit avec beaucoup de méthode, dans le *Journal des mines*, cette méthode usitée dans les forges de l'*Eiffel*, qui comprend une grande partie des ci-devant départements de la Sarre, de la Roër et de l'Ourthe.

Quant au mélange des minerais avec les fondants, il faut que les proportions en aient été déterminées, soit par des essais particuliers dans des creusets, soit par des essais en grand dans les hauts fourneaux. Cette seconde espèce d'essais pouvant exposer à déranger la marche du fondage, on ne s'y livre ordinairement que lorsque le travail du fourneau est prêt à cesser.

Si les minerais à essayer doivent être fondus seuls, il ne faut en mettre que quelques mesures sur la charge de charbon, et s'en tenir à cette faible proportion, jusqu'à ce que la charge soit descendue; puis, d'après la couleur des matières qui coulent devant la tuyère, d'après le degré de consistance des scories qui recouvrent le bain de fonte, et d'après la manière d'être de la flamme du gueulard, on jugera s'il convient d'augmenter ou diminuer la proportion de minerai jusqu'à ce que l'on ait obtenu une assez grande quantité de fonte dans le creuset pour former ce que l'on appelle une *percée* : alors, en observant bien l'état de la fonte, on a des données exactes sur la quantité du minerai qu'il est possible de charger sans addition.

L'oxide de fer seul se fond bien. La difficulté qu'éprouvent les minerais pour être traités avec avantage ne provient que de la nature et des proportions respectives des matières terreuses qu'ils contiennent. On verra, et par la proportion des scories obtenues, et par leur manière d'être, si l'on doit ajouter des fondants : dans ce cas, il faudra faire de nouveau des essais avec cette addition.

Etant fixé sur la nature du mélange à faire, on peut procéder à la charge du fourneau. Il y a deux manières d'opérer : 1° en prenant séparément les proportions de chacune des substances

qui doivent être employées, et en les jetant l'une et l'autre sur le charbon ; 2° en faisant d'avance des tas de matières stratifiées, pour charger chaque fois les minerais et les fondants parfaitement mélangés.

La première manière présente un avantage : c'est qu'on peut, chaque fois, et au besoin, changer les proportions des substances. On a quelquefois besoin de se ménager cette faculté, quand le minerai est très variable par sa nature.

Mais quand on est assuré d'avoir un minerai constant, il faut préférer la seconde manière, qui offre le moyen d'opérer avec plus d'uniformité et avec des mélanges plus exactement faits. Dans ce cas, on apporte sur la plate-forme du fourneau, ou dans un endroit à sa proximité, les quantités déterminées de chaque substance : d'abord on forme un lit ou une couche de la première ; puis on étend les autres par-dessus, couche par couche, de manière que chacune ait une épaisseur égale dans toute l'étendue du lit. Alors le chargeur emplit ses mesures, en enlevant des tranches perpendiculaires à la couche, afin de faire entrer dans sa charge des proportions aussi exactes que possible de chaque substance. C'est là le mode suivi à Johan-Georgen-Stadt, à Blankenbourg, au Hartz, en Suède, etc.

DE LA MISE EN FEU.

D'abord le garde-feu entre dans l'intérieur du fourneau pour le visiter ; s'il y trouve quelque crevasse il la fait reboucher soigneusement avant l'allumage.

La mise en feu exige de grandes précautions :

car, si le fourneau s'échauffait trop rapidement, l'intérieur pourrait se gercer, se fendre; il en pourait résulter des accidents graves, qui auraient de l'influence même sur l'extérieur du fourneau.

C'est particulièrement lorqu'un fourneau est fraîchement construit, qu'il n'est pas entièrement sec, ou quand il est resté long-temps éteint, et que l'humidité a pénétré dans son massif, que l'on est obligé à plus de précautions en l'allumant.

Pour chauffer, on bouche plus ou moins l'ouverture de la tympe avec de l'argile mélangée avec du sable, on place la dame, puis on emplit la cheminée intérieure de charbon.

Le maître-fondeur doit avoir l'attention, en faisant emplir le fourneau, de se faire rendre compte du nombre des charges qu'il contient, afin de déterminer, chaque fois qu'une charge est dans le gueulard, quelle est celle qu'il aperçoit devant la tuyère. Soit, par exemple, la charge de charbon de cinq rasses, contenant chacune 3 pieds cubes, ce qui produit 15 pieds cubes; celle du minerai et du fondant de 12 couches ayant chacune $\frac{5}{12}$ de pied cube, ce qui forme 5 pieds cubes, et par conséquent pour les deux objets, ou pour les charges entières, 20 pieds cubes.

Soit un fourneau de 24 pieds de haut, depuis la pierre du fond jusqu'au gueulard; que ses étalages soient à 6 pieds au-dessus du fond, et que le diamètre du ventre soit de 7 pieds; en un mot que la capacité ou le volume intérieur de ce fourneau soit de 380 pieds cubes.

On voit que la capacité de ce fourneau peut tenir $\frac{380}{20} = 19$ charges, et conséquemment que lorsqu'il y aura au gueulard un vide capable de contenir une charge, il en restera encore dix-

huit dans le fourneau ; que celle qui passera et qui coulera devant la tuyère en supportera au moins dix-huit autres. Si donc les charges se succédaient d'heure en heure, il y aurait dix-neuf heures au moins que celle qui tomberait dans le creuset aurait été jetée.

La quantité de matière forme bien un volume de 18 charges = 360 pieds cubes, au moment où l'on emploie le vide du gueulard, qui est de 20 pieds cubes ; mais le fourneau contient réellement plus de 18 charges, parce qu'une portion du charbon de chaque charge ayant été brûlée en descendant, chacune d'elles ne contient plus que quinze pieds cubes de combustible ; et quoique la capacité remplie du fourneau ne soit que de 19 charges complètes, l'intérieur peut cependant en contenir encore 19, 20 ou 21, au moment où l'on remplit le vide du gueulard : il est donc nécessaire de tenir compte de cette combustion pour déterminer le temps qu'une charge met à descendre.

En emplissant le fourneau, on peut placer, dans le fond du creuset, quelques uns des fumerons qui se rencontrent souvent dans le charbon, et que l'on sépare ordinairement ; on peut même, sans inconvénient, en mêler dans la première charge. Ces fumerons se carbonisent lorsque le fourneau est allumé : ils produisent alors autant d'effet que le meilleur charbon.

Le feu peut se mettre au fourneau par le haut ou par le bas. Anciennement on le mettait par le gueulard, et il se communiquait de tranche en tranche jusqu'au creuset, sans laisser paraître de flamme dans la partie supérieure. On espérait, par ce moyen, éviter les inconvénients d'un chauffage trop rapide ; mais Garney observe avec

raison que cette manière est moins avantageuse que celle d'allumer par le bas. Si le chauffage est conduit avec précaution, par cette dernière méthode on consume une quantité de charbon beaucoup moindre que par la première.

Aussi est-ce généralement par le bas, et par l'ouverture de la tympe, qu'on met le feu et qu'on allume le fourneau.

Dans quelques usines on accumule devant la tympe plusieurs mesures de charbon; on jette sur ce charbon quelques pelletées de braise ou de charbon embrasé; le feu se propage, la chaleur pénètre dans l'intérieur, le charbon brûle, et les parois du fourneau s'échauffent. Aussitôt que le charbon de l'intérieur est échauffé, et qu'il peut s'embraser, la combustion se continue et s'entretient par l'air qui pénètre dans la cuve à travers les ouvertures faites à la tympe: la chaleur rougit alors tous les charbons, et, au bout d'un temps plus ou moins long, on voit la flamme sortir par le gueulard.

Le charbon en brûlant diminue de volume; celui qui est dans la partie superieure descend pour remplir l'espace que cette diminution occasione; il se fait un vide dans le gueulard, et lorsque ce vide peut contenir une charge, on le remplit aussitôt avec du nouveau charbon, sur lequel on met ordinairement une demi-couche ou une couche de minerai. Cette première charge descend; elle forme un vide égal au premier; on le remplit également de charbon, sur lequel on met deux couches de minerai. On ajoute ainsi successivement du minerai selon le besoin que le charbon peut en avoir, ou plutôt selon que le fourneau est plus ou moins échauffé.

Immédiatement après avoir versé la seconde

charge dans le gueulard, les fondeurs s'occupent ordinairement de faire les *grilles;* ils font entrer par le dessus de la dame, dans l'intérieur de l'ouvrage, plusieurs ringards qu'ils placent les uns à côté des autres; ils les rapprochent assez pour empêcher les charbons de tomber; ils retirent ensuite par la coulée les charbons qui sont restés dans le creuset, et la chaleur qui se réfléchit par en bas suffit alors pour échauffer le fond. Les *grilles* sont recommencées jusqu'à ce que la première mine fondue soit prête à tomber dans le creuset, ce que l'on reconnaît par les étincelles que la fonte lance lorsqu'elle vient à être frappée du courant d'air qui entre par la tympe. Alors on nettoye de nouveau le creuset; on y jette du sable ou de la cendre pour en couvrir le fond et empêcher que la fonte ne s'attache à la pierre qui y est placée; enfin on bouche avec de l'argile l'ouverture de la coulée jusqu'à la hauteur de la dame, on débouche la tuyère, on fait marcher la soufflerie et on donne le premier vent.

Dans quelques forges on laisse la tuyère ouverte dès le commencement de la mise en feu; mais la quantité d'air qui arrive à la fois par cette ouverture et par la tympe détermine une combustion trop rapide, un échauffement trop prompt, et quelquefois des accidents.

Cette méthode de chauffer permet souvent, à la vérité, de charger les premières couches de minerai après vingt-quatre heures de mise en feu, de mettre en jeu la soufflerie au bout de quelques jours, et d'avoir de la fonte dans la première semaine; mais aussi elle est sujette à un grand nombre d'inconvénients, dont les principaux sont 1° de chauffer trop brusquement le fourneau; 2° d'occasioner des crevasses à travers

lesquelles la chaleur s'infiltre ; d'occasioner, par une évaporation trop rapide de l'humidité, des efforts, des secousses intérieures, qui affectent la solidité du fourneau, etc.

Les Suédois, qui se sont beaucoup occupés d'améliorer le travail du fer, ont cherché à diminuer ces inconvénients par un chauffage mieux gradué, et en ne chargeant les minerais qu'après avoir amené la température des parois du fourneau au plus haut degré possible, et cela avec la plus petite quantité de charbon. Swedenborg donne beaucoup de bons conseils à cet égard, et Garney s'en est encore plus spécialement occupé. L'ingénieur en chef Daubuisson a traduit ce chapitre de l'ouvrage de Garney. Voici ce qu'il dit :

« On bouche la tuyère ; on place dans le fond « du fourneau quelques lits de fumerons, en les « croisant les uns sur les autres ; on les allume « ensuite avec une branche de bois. Lorsque les « fumerons sont allumés, on charge du charbon « par le gueulard, et l'on ferme l'ouverture de « la dame avec une plaque de fonte. Comme la « fraîcheur et l'humidité pourraient faire éteindre le feu si un courant d'air ne l'alimentait « pas, on est obligé de laisser à la plaque de fonte « une petite ouverture que l'on débouche et que « l'on ferme alternativement, jusqu'à ce que le « charbon soit bien allumé ; alors on cesse d'ouvrir « aussi souvent le trou de la plaque ; on se contente « de la déboucher quelquefois daus les vingt-« quatre heures, et l'on finit ensuite par ne l'ou-« vrir qu'une fois dans le même temps.

« Il faut charger le fourneau d'abord avec du « charbon bien sec : si ce combustible était hu-« mide, l'eau qu'il contiendrait nuirait à l'in-« flammation ; il obligerait à ouvrir plus souvent

« le trou de la plaque ; donnant ainsi l'entrée à « une plus grande quantité d'air, on consumerait « beaucoup plus de charbon, et l'on sècherait « trop rapidement la cuve.

« L'ouverture de la plaque restant fermée, l'en- « trée de l'air étant interdite, le feu serait bientôt « étouffé s'il n'arrivait de l'air d'un autre côté « pour entretenir lentement la combustion. Tout « fait donc croire qu'il en entre par le gueulard, « et qu'il occasione, en passant à travers les « charbons, un double courant, l'un de l'air at- « mosphérique descendant, l'autre d'eau vapo- « risée, de gaz hydrogène et azote carboné, « d'oxide et d'acide carbonique : c'est le courant « ascendant.

« Cette combustion lente du charbon produit « de la chaleur qui se propage de tranche en « tranche, en commençant par le bas et en re- « montant jusqu'au gueulard. Cette chaleur va- « porise d'abord l'humidité des charbons, et bien- « tôt il ne se dégage plus que du gaz hydrogène « et de l'azote carboné, mêlés d'acide carbonique « et d'oxide de carbone. Lorsque ces gaz sont « abondants, et qu'ils parviennent juqu'au gueu- « lard, ils conservent souvent, en se répandant « dans l'air, une température assez élevée pour « s'y enflammer spontanément ; et l'on voit alors « une belle flamme violette lécher la surface des « charbons et s'élever au-dessus d'eux ; bientôt « après, la couche supérieure devient rouge, et la « combustion est générale.

« Lorsque les gaz se dégagent abondamment, « et qu'ils ne sont pas assez échauffés pour s'en- « flammer seuls, on peut, après douze heures de « chauffe, aider l'inflammation avec un morceau « de bois allumé. Aussitôt il se produit une ex-

« plosion qui se continue et se répète dans toute « l'étendue du fourneau : elle est occasionée par « la prompte combinaison de l'oxygène avec les « gaz carbonés.

« Immédiatement après l'inflammation, on « emplit le fourneau de charbon, et l'on bouche « le gueulard, pour préserver le combustible de « l'action de l'air qui peut arriver par cette ouver- « ture et augmenter la combustion. On le bouche « avec des plaques de fonte, avec des pierres et « du mortier, ou avec des branches recouvertes « de terre et de sable ; on ménage seulement une « petite ouverture pour laisser dégager les pro- « duits de la combustion, afin de ne pas étouffer « le feu.

« A de longs intervalles on débouche le trou « pratiqué dans les plaques du bas, pour laisser « pénétrer un peu d'air.

« La chaleur ainsi produite par la combustion « lente dessèche et échauffe les parois ; on l'en- « tretient pendant deux jusqu'à quatre semaines « consécutives, et cela selon l'état du fourneau. « Il faut plus de temps pour un fourneau fraîche- « ment construit, il en faut moins pour un four- « neau nouvellement éteint.

« Quelle que soit la lenteur de la combus- « tion, elle existe, sans quoi le charbon s'é- « teindrait. Il y a du charbon de consumé, et il « faut le remplacer pour entretenir le fourneau « constamment plein. On tâte donc dans le gueu- « lard, en y fourrant la *bécasse* par une petite « ouverture, pour s'assurer du moment où la con- « sommation est telle que l'on puisse y placer une « charge ; alors on débouche cette ouverture, on « emplit le fourneau de charbon, et l'on rebouche « le gueulard afin de diminuer la consommation.

« Avant de charger, on retire par le gueulard « les fragments de pierre ou de mortier qui pour- « raient être tombés sur les charbons ; souvent « il s'en détache des bords du gueulard fraîche- « ment construit, ou des parois du fourneau. Il « faut aussi, pendant toute la durée du chauffage, « ouvrir entièrement la tympe une fois par jour, « pour retirer les fragments de pierre ou de mor- « tier qui pourraient être tombés dans le creuset ; « mais il faut que cette ouverture soit aussitôt re- « fermée.

« La consommation du charbon pendant ce « chauffage est ordinairement de deux à quatre « charges. Lorsque l'on juge que les parois sont « assez échauffées, on découvre le gueulard, on « retire les fragments de pierre ou de mortier qui « pourraient y être tombés, on charge en char- « bon, et sur le milieu de cette charge on place « deux mesures ou environ 1200 livres de minerai. « Cette quantité varie selon sa fusibilité ; on y « ajoute aussi des fondants, si le minerai en est « susceptible. Cette charge étant assez abaissée « pour en former une nouvelle, on ajoute 12 à 15 « livres de minerai à la quantité de la première, « et l'on continue cette augmentation successive- « ment pour toutes les charges.

« On place le minerai dans un creux au milieu « des charbons, afin qu'il puisse fondre. S'il tou- « chait les parois du fourneau, celles-ci, n'étant « pas encore assez échauffées, retiendraient le mi- « nerai, qui s'y agglutinerait, et cette agglutina- « tion, augmentant, pourrait occasioner des en- « gorgements, et empêcherait la continuation du « travail.

« Comme les parois du fourneau sont déjà « échauffées, et que par conséquent on peut se

« permettre, sans de grands inconvénients, d'aug-
« menter un peu la vitesse de la combustion ;
« qu'en outre le minerai exige pour sa fusion une
« température plus élevée, on débouche plus sou-
« vent l'ouverture des plaques de la tympe, jus-
« qu'à ce que l'on puisse la laisser entièrement
« ouverte.

« C'est toujours au moment où la première
« charge du minerai arrive devant la tuyère que
« l'on commence à faire jouer la soufflerie. A cette
« époque la température du fourneau doit être
« assez élevée pour qu'on n'ait pas à craindre
« l'effet d'un grand échauffement occasioné par
« la plus grande combustion qui résulte du nou-
« vel air lancé : c'est pourquoi il est passé en pro-
« verbe qu'*il faut que le vent rencontre le mi-*
« *nerai.*

« Lors donc que le minerai est prêt à tomber
« dans le creuset, et que l'on a l'espérance de le
« voir bientôt paraître, on dispose le creuset et
« la tuyère une demi-heure d'avance environ, le
« premier pour recevoir le métal, et la seconde
« pour faire jouer la soufflerie. Pour cela l'on en-
« lève la plaque qui servait à boucher l'ouverture
« de la tympe ; on nettoie le creuset ; on égalise
« la couche de sable qui bouche la coulée ; on
« retire les charbons embrasés qui sont entre la
« tympe et la dame ; on débouche la tuyère ; on
« la refait si elle est en argile ; on lui donne la
« position fixe et constante qu'elle doit avoir si
« elle est de fonte ou de fer ; on place les buses des
« machines soufflantes dans la tuyère, et l'on se
« dispose à donner le vent.

« C'est au moment où l'on donne le premier
« vent que commence, à proprement parler, le
« travail du fondage. »

FONDAGE.

CONDUITE DU FOURNEAU. — PREMIÈRE PÉRIODE.

Le travail du fondage peut se diviser en deux parties : 1° conduite du fourneau jusqu'à ce qu'il ait atteint une marche uniforme; 2° conduite du fourneau et travail qu'il exige jusqu'à l'extinction ou à la *mise hors*.

Première partie.

On a vu qu'au moment où paraît le premier minerai devant la tuyère, et qu'on le voit couler goutte à goutte, il faut commencer à donner le vent. Si l'on fait usage de machines soufflantes dont la vitesse soit susceptible d'être variée, on la modifie de manière à n'arriver que progressivement à son maximum; si au contraire on n'a pas cette faculté, il faut dans ce cas diminuer ou augmenter l'ouverture de la buse de manière que sous une pression constante il puisse être lancé dans le fourneau des quantités d'air en rapport avec l'état dans lequel il se trouve.

A l'époque où on donne le premier vent, la charge du minerai est à peu près le quart de ce que peut en fondre le charbon allumé; cette quantité s'augmente progressivement et à mesure que le fourneau s'échauffe, de manière qu'au bout de huit jours environ la quantité de minerai chargée soit les $\frac{3}{4}$ de la pleine charge qui aura lieu par la suite. Cette marche progressive dans la quantité de minerai à charger est au surplus

susceptible de modification selon l'état du fourneau au moment où on met le feu, et d'après la qualité des premiers produits que l'on obtient.

Il est extrêmement essentiel, lorsque la fonte commence à tomber dans le creuset, que le sable qui en recouvre le fond soit déjà vitrifié à sa surface, et que la couche qu'il forme résiste assez pour que la fonte ne puisse pas la pénétrer. Ce qu'il faut surtout éviter, c'est que la fonte atteigne la pierre du fond avant que celle-ci ne soit assez chaude pour que le fer ne s'y attache pas : c'est là l'objet qu'on a en vue en étendant la couche de sable sur le fond du creuset.

La nature du sable, l'épaisseur de cette couche, le mélange qu'on fait quand on n'a pas un sable naturellement assez fusible à sa disposition, doivent donc être tels que cette matière terreuse se fonde successivement à mesure que le creuset s'échauffe, et qu'elle se trouve entièrement fondue à l'époque où la pierre de fond a acquis une température assez élevée pour recevoir sans inconvénient le régule de fer liquéfié.

Il faut aussi que les bords de la tympe, ceux de la dame et les costières soient recouverts de brasques, pour empêcher que le fer fondu ne s'y attache.

Dans les premiers moments d'un fondage, on fera toujours bien de ne traiter que les minerais les plus fusibles, afin que les scories conservent leur état pâteux, voisin de la liquidité, à la température, toujours assez basse dans ce commencement, que le creuset a acquise lorsqu'elles y arrivent.

Jusqu'à ce que la matière fondue ait rempli la capacité du creuset, il faut boucher, avec de la brasque, l'ouverture de la tympe. Cette ouver-

ture reste libre dans la suite, pour favoriser l'écoulement des scories ; mais, dans le commencement de l'opération, elle occasione une trop grande perte de chaleur.

Si le laitier est assez fluide pour couler de lui-même, ce qui est extrêmement rare dans les premiers temps du fondage, on débouche la tympe, et l'on favorise son écoulement en pratiquant une rigole dans la brasque qui recouvre le dessus de la dame, et en jetant un peu de poussier de charbon sur les scories.

Mais quand ce laitier manque de fluidité, et que sa couche supérieure est dure, on la casse en passant un ringard par-dessous, et on la tire dehors à l'aide de crochets ; on laisse séjourner sur la dame les portions de laitier ainsi tirées, afin de les échauffer ; puis on les enlève pour faciliter l'écoulement du nouveau laitier qui s'est formé, qui s'est élevé au-dessus de la dame, et dont on augmente la liquidité au moyen d'une addition de poussier de charbon. Il faut continuer tous ces soins jusqu'à ce que le creuset soit assez échauffé pour que les laitiers s'y maintiennent dans un état de fluidité qui leur permette de couler seuls.

Dans le commencement du fondage, et avant que le creuset ne soit rempli, une partie des laitiers, encore trop durs, s'attachent le long des costières, et il s'accumule de la fonte en masses ou loupes.

Quant aux scories ou laitiers, on peut, sans de grands inconvénients, les laisser s'attacher sur les bords du creuset, parce que, quand il viendra à s'emplir, son contenu, s'échauffant progressivement, arrive bientôt à la hauteur des matières attachées et en détermine une nouvelle fusion. Mais quand c'est la fonte qui s'amasse et se soli-

difie ainsi sur les côtés pour former des loupes, il devient très essentiel d'arrêter les progrès de ce durcissement, en rompant et en divisant le métal à l'aide de ringards; on recouvre ensuite ces fragments avec des scories fluides qui les préservent de l'action de l'air, et leur conservent par communication une température suffisante pour leur liquidité.

Autant qu'il est possible, il faut éviter de travailler dans le creuset pendant qu'il s'emplit, parce que ce travail ne peut se faire qu'en débouchant la tympe, ce qui occasione un refroidissement très nuisible.

A toutes les époques du fondage, lorsqu'on aura à travailler dans le creuset, il ne faudra le faire qu'avec des outils rougis au feu. On doit soigneusement éviter, surtout dans les premiers jours, de toucher avec les ringards aux faces du creuset, de les dégrader, ce qui serait très nuisible. Plusieurs espèces de pierres avec lesquelles on construit les ouvrages sont sujettes à s'amolir d'abord par l'action du feu, et dans cet état le moindre choc les dégrade. Ordinairement elles durcissent ensuite par la continuité de la chauffe.

Le minerai continuant de se liquéfier, il tombe dans le creuset de la fonte et du laitier : ce dernier s'écoule, la fonte s'accumule, et le creuset s'emplit. Les creusets de moyenne dimension sont ordinairement pleins au bout de vingt-quatre heures, dans le commencement du fondage; mais de très grands creusets, dans les fourneaux ordinaires, sont jusqu'à trois jours à s'emplir.

Lorsque le creuset doit s'emplir de fonte dans vingt-quatre ou trente heures, on peut attendre, pour faire la première coulée, qu'il soit entièrement rempli; mais, s'il lui fallait plus de temps,

il faudrait donner écoulement à la fonte avant le remplissage, car la fonte en fusion s'affine d'autant plus qu'elle séjourne plus long-temps dans le creuset, et cet affinage la rend plus épaisse, moins fusible. En général, il faut éviter que la fonte reste plus de trente-six heures en fusion.

Après trente-six heures de jeu de la soufflerie, quel que soit le degré de plénitude du creuset, on doit percer le trou de la coulée, et faire sortir la fonte. Nous reviendrons plus loin sur cette opération.

Lors de ce premier écoulement ou *lâchée*, et même tant que le creuset n'a pas atteint le maximum de température, il faut se garder de le vider complétement; il est bon qu'il y reste assez de fonte pour faciliter la continuation de la fusion, et pour maintenir la liquidité du métal qui continue à descendre dans le creuset. Ce n'est guère qu'au bout de huit ou quinze jours qu'on peut se permettre de faire les lâchées complètes.

Après un certain nombre de coulées, et lorsque le creuset est arrivé à la température convenable pour que la fonte y reste bien liquide, il convient de nettoyer soigneusement le creuset, d'enlever les laitiers qui sont attachés à ses parois, et de faire retomber dans le bain les masses de fonte, les loupes qui se sont durcies et qui se sont attachées inégalement.

Après les premières coulées, la température du creuset augmentant continuellement, la fusion devient de plus en plus facile, la fonte et les laitiers de plus en plus fluides, et toutes les difficultés vont en décroissant. Alors on augmente le vent de la soufflerie et le minerai dans les charges, jusqu'au maximum de ce qu'en peut fondre le

charbon employé. A cette époque la marche du fourneau est devenue uniforme. C'est de cette seconde période que nous allons partir pour décrire la conduite du haut fourneau en cours régulier de travail.

CONDUITE DU FOURNEAU. — DEUXIÈME PÉRIODE.

Comme on l'a vu plus haut, les ouvriers occupés au travail du fourneau se classent en *chargeurs* et *fondeurs*. Les premiers se tiennent à la partie supérieure, charrient et transportent sur la plate-forme les charbons, les minerais, les fondants, forment les lits, sondent les gueulards et y versent les charges. Les seconds sont attachés à la partie inférieure du fourneau; ils font donner aux machines soufflantes tout le vent nécessaire, font écouler les laitiers et la fonte, charrient les laitiers dehors, creusent le moule dans lequel la fonte doit couler, nettoient le creuset, etc., etc. Le maître-ouvrier, appelé ordinairement *garde-feu* ou *garde-fourneau*, particulièrement attaché au travail du bas, surveille toutes ces opérations, et indique en outre aux chargeurs les proportions et la nature des minerais et des fondants qu'ils doivent charger chaque fois.

Détail sur le travail des chargeurs.

A l'instant où les premières couches de minerai se chargent dans le fourneau, ses parois ne sont pas encore assez chaudes pour aider à sa fusion : il faut donc, dans ce premier instant, que les chargeurs placent le minerai dans une espèce de

cavité, de fosse pratiquée au centre du gueulard, au moyen de ce que le charbon enflammé a été repoussé sur les bords; mais à l'époque où les parois sont chaudes, cette précaution devenant inutile, et la nécessité d'employer toute la surface disponible du fourneau se faisant sentir, on étend les minerais en couches horizontales et autant régulières et complètes que possible.

Quand les minerais ont été préalablement stratifiés avec les fondants, le chargeur peut jeter ce mélange sans choix sur le charbon. Mais si les minerais et les fondants sont restés séparés, les chargeurs doivent avoir l'attention, pendant tout le temps qu'il y a uniformité dans la marche du fourneau, de mélanger partout également les minerais et les fondants; et lorsque le fourneau se dérange, et que, par des causes particulières de dégradations ou par l'action de l'humidité, il chauffe plus d'un côté que d'un autre, on peut, en chargeant des mélanges plus réfractaires du côté le plus chaud, et les plus fusibles du côté le plus refroidi, ou bien encore en chargeant des charbons qui brûlent plus ou moins facilement, on peut, disons-nous, rétablir l'uniformité du fondage dans toute la capacité du fourneau.

Quelques métallurgistes ont conseillé de peser le charbon, et le minerai des charges; mais si cette méthode peut convenir pour le minerai, qui est peu hygrométrique, il n'en est pas ainsi pour le charbon, qui l'est beaucoup; et l'on s'exposerait par là à commettre de graves erreurs : il paraît donc qu'il vaut mieux s'en tenir au dosage par mesure de capacité, qui est assez généralement pratiqué par tous les fondeurs.

La masse des charges peut et doit varier, et elle varie en effet dans chaque usine, 1° selon

la capacité du fourneau, 2° selon la nature du combustible, 3° selon la fusibilité des minerais. Les fourneaux les plus grands, les charbons les plus combustibles, les minerais les plus fusibles, donnent lieu à des charges plus considérables. Marcher, qui s'est spécialement occupé de cette partie du travail, rapporte que, dans un fourneau de la famille de Rauscher en Carinthie, chaque charge est de 318 pieds cubes; elle est de 102 pieds cubes ordinairement en Suède. Le nombre des charges faites par jour varie également selon les volumes, la capacité des fourneaux, la nature du charbon et la masse d'air lancée. Ce nombre est de dix par jour dans les fourneaux de Laurwig en Norwége, et de 195 dans celui de Feistritz en Carinthie. En Suède, les fourneaux ont à peu près tous des dimensions semblables, et les charges de charbon y varient entre 12 et 24 tonnes, c'est-à-dire entre 51 et 102 pieds cubes, et l'on met par jour entre 10 et 18 charges. L'opinion de Garney, conforme à cet égard à celle de tous les métallurgistes instruits, est qu'il vaut mieux faire les charges plus petites et les renouveler plus souvent, principalement parce que le minerai se trouve plus uniformément mêlé avec le charbon.

Le fourneau connu en Europe pour fondre le minerai avec le plus d'avantage est celui des bénédictins de Rettelstein en Styrie, qui ne brûle que 66 parties de charbon pour en produire 100 de fonte; on y charge 166 fois dans la journée, et chaque charge n'est que de trois pieds cubes de charbon environ. Les deux fourneaux de la famille de Rauscher en Carinthie, indiqués par Marcher sous les n°s 7 et 8 de son tableau, et qui ne consument, terme moyen, que 95 parties de

charbon pour 100 de fonte, chargent, l'un 208, et l'autre 148 fois par jour. Le fourneau de Feistritz, également en Carinthie, qui brûle 99 parties de charbon pour 100 de fonte, est chargé 195 fois en 24 heures.

Détails sur le travail des fondeurs ou des ouvriers à la partie basse du fourneau.

Ces ouvriers doivent regarder souvent à la tuyère, pour s'assurer si l'*œil* ou la bouche est bien libre, et si le vent pénètre facilement. De temps à autre il se forme à l'extrémité de la tuyère un amas connu sous le nom de *nez*: c'est le produit d'une agglomération de matières fondues d'abord et qui viennent s'y figer; il faut avoir soin de rompre ce nez. Il faut encore que les fondeurs s'occupent de faire couler les scories, de les *haller* dehors quand elles sont peu fluides; si elles sont par trop tenaces, elles doivent être brisées avec un ringard.

Quand le creuset approche du plein, et que la couche de laitier qui recouvre la fonte n'est plus que peu épaisse, les fondeurs doivent préparer les moules. Cette préparation se fait ordinairement une demi-heure avant la coulée.

Ces moules sont de longs creux en forme de gouttière lorsque l'on coule des *gueuses*, des prismes rectangulaires lorsque l'on coule des saumons ou des plaques, enfin ce sont des trous paraboloïdaux lorsque l'on veut obtenir des *blettes*. Toutes ces formes ne dépendent pas seulement des moyens de transport que l'on a à sa disposition pour les fontes, mais aussi des procédés d'affinage auxquels on a l'intention de les soumettre.

Les *gueuses* sont de grands prismes triangulaires du poids de 15 à 25 quintaux; elles ont de 16 à 24 pieds de longueur. Cette forme est donnée à la fonte dans tous les pays de plaine, où l'on peut facilement faire les transports à voitures.

Les *saumons* sont des prismes quadrangulaires de 3 à 4 pieds et demi de longueur, du poids de 4 à 7 quintaux.

Les *plaques* sont de petits prismes quadrangulaires de 6 à 12 pouces de côté, du poids de 100 à 150 livres. Ces sortes de plaques se coulent dans les pays de montagnes, où les transports ne peuvent se faire qu'à dos de chevaux ou de mulets.

On appelle *blettes* de petites lames ou feuilles de fonte, que l'on dispose ainsi afin de pouvoir raffiner plus facilement et plus commodément le fer cru, et obtenir à volonté soit du fer, soit de l'acier, avec la plus petite consommation de charbon. Le mot de *blettes* vient de l'allemand *blatt*, feuille ou feuillet. Il n'y a encore qu'en Carinthie que ce genre de fabrication soit en pratique; et c'est assurément à tort qu'il n'a pas été étendu à d'autres usines : il procure de l'économie dans le combustible.

Le sol de l'embrasure du devant des fourneaux est continuellement recouvert d'une couche plus ou moins épaisse de sable et de laitier pulvérisé : c'est dans ce sable ou ce laitier que les fondeurs creusent leurs moules. C'est avec des bêches, des pelles ferrées, ou avec l'instrument triangulaire auquel on donne le nom de *charrue*, que la terre est retirée et jetée sur les côtés. L'on arrose faiblement les creux ainsi formés, et l'on en bat ensuite les parois pour leur donner plus de consistance. Il faut, en les arrosant, les mouiller avec précaution, parce que trop d'humidité fe-

rait bouillonner la fonte, et ferait jaillir des étincelles qui pourraient être dangereuses.

Pour les gueuses, les saumons ou les blettes, les creux des moules sont continués sans interruption ; pour les plaques, on forme plusieurs moules les uns à côté des autres, et on les fait communiquer au moyen de rigoles.

Les moules étant préparés et le creuset rempli, on se dispose à la coulée. Dans ce moment on arrête la soufflerie, ou l'on sort la buse de la tuyère, afin d'empêcher qu'elle ne se brûle, et qu'il n'entre dans le creuset aucun air ; on nettoie le plan de la coulée, et avec un gros ringard dont on a rougi le bout pointu, on perce le massif de sable et d'argile qui a été élevé à côté de la dame. Souvent il suffit pour cela du choc du ringard contre la masse de terre et de sable ; quelquefois aussi il faut frapper avec une masse sur l'autre extrémité du ringard pour le faire entrer de force. Quand ce ringard a pénétré jusqu'à la fonte, on le retire peu à peu afin de ménager la sortie du métal, en ne laissant couler le fer fondu que par une petite ouverture : le métal fluide arrive ainsi dans le moule. On débouche de plus en plus l'ouverture de la coulée, en retirant le ringard, et enfin on laisse sortir la fonte à pleine ouverture. Aussitôt que les scories sont assez basses pour pouvoir sortir à leur tour, on agrandit l'ouverture ; mais comme celles-ci se figent promptement, et qu'elles ne coulent qu'en partie, il reste toujours dans le creuset une quantité de verre terreux plus ou moins considérable. Il faut retirer avec précaution tous les laitiers qui restent dans le trou de la coulée, jeter ensuite un peu de sable devant l'ouverture, et le faire entrer dans le trou pour le boucher ; il faut même l'y comprimer,

afin qu'il acquière de la dureté, et que l'ouverture se trouve complétement bouchée. Si les scories étaient assez actives pour faire fondre le sable, on boucherait l'ouverture avec un tampon de terre, soit d'argile seule, de terre et de sable, soit enfin de poussier de charbon et d'argile.

Aussitôt que le creuset est vide, on le nettoie en détachant de ses parois tout ce qui y adhère : pour cela, on abat toutes les substances qui se sont amoncelées au-dessus de la dame jusqu'à 6 pouces de hauteur ; on fait entrer, par cette ouverture, des ringards et des crochets ; on laisse tomber dans le creuset tout ce qui est fusible, et l'on retire les laitiers durcis, que l'on nomme *laitiers de hallage*. On jette du charbon par cette nouvelle ouverture ; on l'étend sur l'avant-foyer ; on ferme la tympe avec du poussier, du fraisil, et l'on donne le vent de nouveau.

Le laitier de hallage est toujours mélangé de fonte en grenaille, que l'on peut en séparer avec un marteau ou à l'aide d'un bocard.

Avant de couler, avant même de retirer le vent, le fondeur prévient les chargeurs qui sont sur la plate-forme, en frappant sur une plaque, qu'ils aient à charger le fourneau si le vide est assez grand dans le gueulard, afin que le travail de la coulée soit exécuté tranquillement, sans interruption et sans secousse. Quand il n'est question que de couler des petites pièces, on peut puiser à la *poche* la fonte dans le creuset. Dans cette circonstance, le fondeur fait un tampon de laitier, dont la longueur est égale à la largeur du creuset ; et, avant de laisser l'avant-creuset libre, il écume la fonte qu'il contient, et les ouvriers y puisent le fer fondu, qui est aussi pur qu'ils peuvent l'obtenir. Quand les ouvriers ont employé le

fer qui leur est nécessaire pour leurs pièces, on coule en gueuses, en saumons ou de toute autre manière, la fonte qui reste encore dans le creuset.

Pour la coulée des gueuses, on se contente, lorsque la fonte est dans le moule, de jeter par-dessus un peu de sable ou de poussier de charbon, afin de diminuer la vitesse du refroidissement de la surface supérieure, et de rendre ce refroidissement autant que possible uniforme dans toute la masse. On jette dans le creuset, après la coulée, tous les grains que l'on a séparés du laitier.

Comme les fourneaux qui n'ont pas d'ouverture particulière pour l'écoulement des scories doivent laisser sortir en même temps, par le trou de la coulée, la fonte et les laitiers qui se sont accumulés dans le creuset, on a soin de jeter de l'eau sur la surface du bain des matières obtenues et pendant qu'elles sont encore liquides, afin de séparer plus facilement les scories, qui se figent d'abord, du métal, qui reste en fusion.

Dans les pays de montagnes, où l'on coule des plaques dans une suite de moules qui communiquent l'un à l'autre par une rigole, on recouvre la fonte avec un peu de sable ou poussier de charbon, afin de favoriser l'égalité du refroidissement; mais lorsque le fer est solidifié, et pendant qu'il est encore chaud, on jette de l'eau sur la fonte qui remplit les rigoles de communication: par ce moyen on la rend très aigre, et les petits cylindres qui attachent les plaques les unes aux autres deviennent tellement cassants, qu'il suffit d'un léger choc, lorsqu'ils sont refroidis, pour les rompre, et mettre de cette manière les plaques en liberté.

Le travail de la coulée des *blettes* est tout particulier. Il a été décrit par MM. Dangenoux et

Wendel, et par Monge. (Voyez *Avis aux ouvriers en fer sur la fabrication de l'acier*, page 7; *Fabrication des canons*, page 27.)

« La fonte coule dans un grand bassin parabo-
« loïde, creusé devant le trou de la coulée du
« fourneau ; le fer liquide et le laitier qui le re-
« recouvre remplissent entièrement le bassin. On
« les sépare l'un de l'autre, 1° par la différence
« de leur densité, 2° par la température à la-
« quelle l'un et l'autre se solidifient.

« On jette de l'eau sur cette masse; le laitier se
« fige aussitôt; on l'enlève à l'aide de ringards et
« de crochets; on retire ainsi tout le laitier jusqu'à
« ce que la fonte liquide reste à découvert.

« On jette tout de suite de l'eau sur la fonte;
« elle se fige à la surface, et, avec des ringards
« et des crochets, on enlève une feuille ou gâteau
« rond et mince que l'on porte hors de l'atelier;
« on jette de nouvelle eau sur la surface de la
« fonte découverte; elle se fige également, et
« fournit une seconde feuille que l'on retire de la
« même manière; on continue de figer la surface
« de la fonte au moyen de l'eau, et d'enlever
« chaque feuille figée jusqu'à ce que toute la masse
« ait été réduite ainsi en *blettes* ou en *feuilles*.
« Plus les feuilles sont minces, mieux on estime
« cette espèce de fonte, parce qu'elle est d'autant
« plus facile à travailler.

« Dans d'autres usines de la Styrie, ainsi que
« dans plusieurs forges du Nivernais, on se con-
« tente de faire couler le régule de fer sur un plan
« dressé; là, il s'étend, et le laitier l'y recouvre;
« on jette de l'eau sur le laitier, pour le figer et
« le séparer. On parvient ainsi à enlever, à deux
« fois différentes, le laitier qui recouvre le bain,
« et l'on obtient une couche de fonte d'un pouce

« d'épaisseur environ, que l'on casse ensuite pour « la transporter et la travailler. Le laitier, ainsi « séparé, se trouve mélangé de grains de fonte : « on les dégage en bocardant le verre terreux. « M. Rambourg, savant maître de forges, a dé- « crit ce dernier procédé. »

PRINCIPES THÉORIQUES DE LA FUSION DANS LES HAUTS FOURNEAUX.

C'est de ces principes que l'on doit déduire les moyens de reconnoître la marche plus ou moins régulière des hauts fourneaux, et par suite les moyens de corriger leur allure quand elle éprouve des dérangemens.

Le charbon sur lequel le minerai a été chargé, venant à se consumer dans le fourneau par l'effet d'une combustion qui a lieu plus rapidement dans la partie basse que dans celles plus élevées, y laisse un vide qui est bientôt rempli par la charge qui descend, et il se forme un vide correspondant dans la région du gueulard.

Plus le combustible est léger, plus le vent est considérable, plus la charge descend promptement. Dans un fourneau de 20 pieds de hauteur, à Ste-Gertrude, en Carinthie, où l'on brûle du charbon de bois de sapin, la durée de la descente du minerai est de trois heures et demie. Marcher indique, sous le n° 49 de son tableau, un des fourneaux de Suède dans lequel on brûle du charbon de bois de pin et de sapin : ce fourneau a 23 pieds de hauteur, et la durée de la descente du minerai est de vingt-une heures. Dans les grands fourneaux anglais, de 40 à 60 pieds de hauteur, où l'on brûle du charbon de houille, la durée de

la descente du minerai est de soixante-dix à cent vingt heures.

L'influence de la duré de la descente du minerai sur la qualité de la fonte qu'on obtient est extrêmement grande. Plus le minerai est de temps à descendre, plus long-temps il est en contact avec le charbon, plus il reste exposé à l'action des gaz carbonés, et plus complétement le métal peut, après avoir été réduit, se combiner avec le carbone, et par conséquent plus la fonte que l'on obtient est grise.

Le premier effet de la chaleur sur le minerai est un dégagement des substances qui sont susceptibles de se vaporiser, telles que l'eau, l'acide carbonique, et peut-être aussi un peu d'oxygène, sans parler de quelques autres substances qui pourraient se trouver accidentellement en présence, ou telles que le soufre, l'arsénic, etc.

Presque toujours les minerais, malgré la calcination qu'ils ont subie, contiennent de l'eau dont ils se sont imbibés par leur exposition à l'air plus moins humide.

Les minerais se placent toujours sur la charge de charbon; ils se sèchent et se calcinent en descendant; dans la charge suivante, ce minerai est recouvert de charbon, et s'en trouve enveloppé de toute part: dans cet état plusieurs causes concourrent à le désoxider, à le reduire et à le carboniser. Parmi ces causes, il en faut distinguer principalement deux : 1° l'éparpillement du minerai dans le combustible, 2° les gaz carbonés qui passent à travers.

Si la charge descendait uniformément, si le minerai était réuni en un seul tas, et qu'il fût placé dans un creux fait dans le charbon, comme cela a lieu à l'époque des premières charges après la

mise en feu, il resterait en masse, s'agglutinant pendant la descente : il n'y aurait alors de désoxidé, de réduit par le contact du charbon, que la surface extérieure de la masse. Voilà pourquoi, dans la vue d'éviter cet inconvénient, on a soin, en chargeant le minerai, lorsque le fourneau est bien en train, de donner au charbon une surface convexe dans sa partie supérieure, afin que le minerai qu'on jette dessus puisse glisser et s'écouler jusque sur les parois du fourneau. A mesure que le charbon descend dans un espace qui s'élargit, le minerai s'étend; les petites secousses qui résultent de l'inégalité du mouvement de descente occasionent l'introduction du minerai dans les espaces que le combustible laisse entre ses fragments; et alors le contact devient plus général et plus uniforme. Néanmoins ce contact ne serait pas suffisant, à beaucoup près, malgré ce changement de distribution, et il y aurait toujours des masses de minerai plus ou moins grandes qui échapperaient à la désoxidation dans l'intérieur, si la seconde cause de désoxidation, c'est-à-dire l'action des gaz, ne concourait dans cet effet. Ce qui se passe à cet égard dans les hauts fourneaux est devenu encore pour l'école pratique de Moustiers un sujet de recherches, et on s'y est livré à des expériences que nous devons rapporter ici. Pour s'assurer si réellement les gaz carbonés peuvent désoxider le métal en passant à travers les interstices, les fentes, les pores des minerais, on a placé dans un canon de fusil des fragments d'oxidule de fer de l'île d'Elbe; il ont été fortement chauffés, et on a fait passer à travers du gaz hydrogène carboné. Les fragments d'oxidules ont d'abord augmenté de volume; il s'est formé des gerçures; le mine-

rai s'est fendillé ; le gaz a passé à travers ; il les a complétement désoxidés ; les fragments retirés du canon étaient doux, malléables ; ils se dissolvaient dans l'acide muriatique en laissant dégager du gaz hydrogène ; ils avaient perdu dans cette opération 29 pour 100.

L'oxidule désoxidé par les gaz carbonés est noir, tandis que celui qu'on désoxide par l'hydrogène pur, d'après les expériences de Priestley, Chaussier et Berthollet fils, est d'un blanc plus ou moins jaunâtre.

On peut raisonnablement supposer que le même effet a lieu en grand dans les hauts fourneaux. D'abord le charbon qui est au-dessus du minerai se sèche ; il s'en dégage de l'eau ; mais une portion de ce liquide, plus fortement retenue, se décompose et produit de l'acide carbonique et de l'hydrogène carboné ; ces gaz passent à travers les couches de minerais qui recouvrent le charbon ; l'oxide métallique décompose le gaz hydrogène carboné, au moyen de ce que son oxygène se porte sur l'hydrogène du gaz et sur le carbone.

A mesure que le minerai descend, il se trouve de plus en plus échauffé. Il résulte de l'acide carbonique de l'action de l'air atmosphérique qui a passé sur les charbons ; il s'est formé aussi de l'oxide de carbone, et probablement de l'azote carboné ; ces deux derniers gaz, en passant à travers les masses de minerai, y déposent une portion de carbone, dont une partie est d'abord employée à désoxider, à réduire le fer à l'état métallique, tandis que l'autre portion de ce carbone se combine au métal, et produit du carbure de fer.

Plus les minerais sont restés long-temps en con-

tact avec les charbons et les gaz carbonés, avant d'entrer en fusion, et plus leur désoxidation et leur carbonisation sont avancées; par conséquent plus la charge est lente à descendre, plus cet effet est considérable : on obtient donc, *cæteris paribus*, une fonte d'autant plus grise que la descente de la charge a été effectuée dans un temps plus long.

La manière dont les différentes parties d'un haut fourneau s'échauffent successivement, et le mode de distribution de la température, suffisent pour faire juger assez exactement de ce qui doit s'y passer. La température augmente à partir de la tuyère jusqu'à une certaine hauteur dans l'*ouvrage*, puis elle décroît graduellement jusqu'au gueulard. Le point du maximum de la température varie en hauteur selon la vitesse de l'air, la quantité et la nature du combustible.

Dans le cours de leur descente dans le fourneau, les minerais se dessèchent d'abord; plus tard leur désoxidation a lieu; puis enfin ils se carburent. Comme ils descendent continuellement, et que la chaleur augmente de haut en bas dans une grande partie du trajet, ils continuent à s'échauffer, et de plus en plus ils approchent de la température propre à la fusion; rendus à ce point, le minerai et les terres fondent, le laitier enveloppe le métal fondu, ils coulent ensemble goutte à goutte, et tombent dans le creuset.

En coulant le long des parois, le minerai qui les touche s'échauffe aussi. Si en fondant il est en contact avec des parois plus chaudes que lui, il ne s'y attache pas dans son passage; si au contraire les parois avaient une température moindre que celle du minerai fondu, celui-ci se refroidirait, il pourrait même se figer, et cet effet

amènerait un engorgement dans la *cheminée* intérieure, causé par l'adhérence du métal fondu aux parois du fourneau.

Il arrive assez fréquemment qu'il y ait action réciproque entre le minerai, les laitiers et la masse des parois; et cela, selon la nature des terres mélangées ou combinées dans les minerais, et selon celle de ces mêmes parois : dans ce cas il y a dégradation rapide du fourneau, ou au moins de son enveloppe intérieure ou *chemise*.

Lorsque, dans sa descente, la masse du minerai se divise peu, et que les gaz carbonés qui passent à travers n'ont pas entièrement désoxidé chaque fragment, les gouttes fondues sont dans des états différents : les unes sont carburées plus ou moins fortement, tandis que dans d'autres c'est l'oxygène qui prédomine encore. Les matières fondues tombent ainsi dans le bain du creuset; là les gouttes plus oxidées rencontrent celles qui sont plus carburées; les portions respectives d'oxygène et de carbone peuvent se combiner; et en même temps qu'il en résulte une masse plus homogène et où le carbone et l'oxygène se trouvent plus également répartis, il se forme de l'acide carbonique ou du gaz oxide de carbone, et souvent l'un et l'autre; ces gaz se dégagent, et dans leur passage ils soulèvent le laitier visqueux et le rendent poreux.

On a vu précédemment que, quel que soit l'état dans lequel se trouve le fer fondu à son passage devant la tuyère, s'il n'est pas enveloppé par une quantité suffisante de verre terreux qui le garantisse, il s'oxide. Ce mélange de gouttes carburées et oxidées produit également de l'acide carbonique ou du gaz oxide de carbone. Dans tous ces cas le mélange des fontes fortement oxi-

dées et carburées cause une effervescence dans le creuset : d'où il résulte que la fonte que l'on obtient est moins grise qu'elle n'aurait été si les minerais eussent été mieux répartis dans le charbon, et, dans le dernier cas, s'il y eut eu assez de terre pour produire une quantité de laitier abondante qui eût enveloppé les gouttes de métal.

Il est évident, d'après tout ce qu'on a vu, que la durée de la descente de la charge a une très grande influence sur la nature de la fonte ; cette durée n'influe pas moins sur l'économie du combustible. Le tableau qui suit, et qui présente un relevé de la vitesse et du temps de descente de la charge dans un grand nombre de fourneaux de différents pays, rendra ces vérités encore plus palpables. En comparant cette vitesse de la descente de la charge avec la proportion de charbon employée pour produire 100 parties de fonte, on trouvera que, toutes choses d'ailleurs égales, la quantité de charbon brûlée est d'autant moins grande que la durée de la descente est plus longue.

TABLEAU extrait du grand ouvrage de MARCHER.

N° de Marcher.	SITUATION DES FOURNEAUX.	hauteur.	capacité de la cuve.	CHARGES de CHARBON. nombre	CHARGES de CHARBON. volume total	volume du minerai en 24 heures.	total des volumes en 24 heures.	durée de la desc. de la charge.	proportion de charbon consommé par 100 parties de fonte.
		pieds	pouces cubes.		pouces cubes.	pieds cubes.	pouces cubes.	h. m.	parties.
	CARINTHIE.								
1	de la famille Rauscher.	18	110	54	783	59	842	4 2	137
5	Idem.	20	124	145	790	74	864	4 6	110
6	Idem.	24	157	147	799	80	879	5 7	106
7	Idem.	24	176	208	754	78	832	6 8	95
8	Idem.	30	228	148	808	80	888	8 2	95
9	Idem.	29	238	160	1160	90	1250	6 1	130
12	de Sainte-Gertrude.	20	132	81	1174	46	1210	3 5	299
14	Idem.	23	173	138	988	54	1042	5 3	182
21	de Huttemberg.	22	161	145	1247	73	1320	4	184
22	de Mossinz..	27	224	147	1334	91	1425	5	150
23	de Loelling.	28	233	146	1058	88	1146	6 6	107
24	de Huttl.	28	312	167	1494	96	1640	6 5	195
25	de Feystritz.	28	344	195	884	87	971	11 3	99
	STYRIE.								
26	de Neuberg.	16	174	34	788	43	831	6 6	221

27	Idem.	21	279	100	768	63	831	10 7	196
29	Idem.	24	338	141	715	78	793	13 6	130
34	de Vordernberg.	17	106	87	816	50	876	3 9	148
37	Idem.	19	170	100	955	70	1020	5 3	117
38	de Eisen-Ertz.	19	295	57 2	1647	100	1747	5 4	183
41	de Lichtenstein.	23	125	70	537	60	597	6 7	160
	BASSE-HONGRIE.								
44	de Libethein.	23	216	30	926	30	956	7 2	549
45	de Poinick.	25	287	31	897	32	929	9 8	484
47	de Rothnitz.	28	322	34 ½	847	40	887	11 6	361
48	de Theisholz.	25	321	38	1076	36	1112	9 5	341
	SUEDE.								
49		23	674	12	951	72	1023	21 2	123
50		29	812	18	1644	112	1756	14 8	130
	NORWÈGE.								
51	de Laurwig.	29	678	10	672	40	712	30 5	176
	HESSE.								
55	de Schmalkalden.	20	141	24	630	18	648	7 1	168
	RUSSIE.								
60	Ruschwinskoï.	23	430	30	2252	62	2318	5 1	321
65	Petrokamenkoï.	35	1831	46	3857	207	4064	14 5	160
68	Newjamskoï.	41	2214	52	5215	315	5530	12 8	115
	A DEUX TUYÈRES.								
	STYRIE.								
76	aux bénédictins de Rettelstein.	20	200	166	391	102	493	13	66
	A CHARBON DE HOUILLE.								
	Clamorgan.	60	4500	85	1020	170	1190	117	260
	Angleterre.	50	3280	82	820	150	970	81	263
	Idem.	40	2260	80	640	120	760	71 3	300

Ce tableau présente cependant un assez grand nombre d'anomalies; mais elles étaient inévitables, à cause de la différence dans les charbons ou dans la nature des minerais que l'on traite, ou enfin à cause des proportions des fourneaux, et des différences dans la conduite du travail. Il suffit dans ce cas, pour tirer une conclusion qui s'approche de la vérité, que le plus grand nombre des faits conduise au même résultat, et que tous les autres s'en approchent plus ou moins : or la réunion de ces conditions tend évidemment, dans les faits cités, à prouver que plus la descente des charges est lente, et moins il se consomme de charbon pour obtenir une égale quantité de fonte.

En chargeant un fourneau, on peut faire varier le rapport en quantité du minerai au combustible. Lorsque la proportion de minerai est petite relativement à celle du charbon, la charge met plus de temps à descendre, et le minerai se trouve dans un contact plus immédiat avec le charbon; effets qui concourent doublement à la production de fonte grise.

La quantité de charbon consumée dans les vingt-quatre heures est relative à la quantité d'air lancée pendant le même temps dans le fourneau. Si le fourneau se trouve totalement rempli de combustible, la charge mettra un temps déterminé à descendre, c'est-à-dire à consumer le charbon contenu dans le fourneau; mais si le charbon est mélangé de minerai, deux causes peuvent concourir à faire consumer plus promptement le charbon que le fourneau contient : 1° la quantité de charbon sera moindre, puisque le minerai mélangé tient une partie du vide; 2° l'oxygène des oxides de fer se combine avec une partie de charbon pour former de l'acide car-

bonique ou du gaz oxide de carbone, tandis que le métal revivifié se combine avec une autre partie de ce combustible. Ainsi, lorsque l'on mélange du minerai avec du charbon, l'oxygène des oxides métalliques et l'action du métal revivifié sur le charbon concourent, avec l'oxygène de l'air lancé par les machines soufflantes, pour consumer le charbon : d'où il suit que les charges doivent descendre d'autant plus vite qu'il y a du minerai mélangé avec le charbon.

Il s'ensuit encore que l'on peut obtenir des fontes variées, des fontes plus ou moins carburées, plus ou moins grises, selon que les minerais auront été mélangés en plus ou moins grande proportion avec le combustible.

Non seulement la proportion de minerai contribue à accélérer ou retarder la descente des charges, mais elle influe aussi beaucoup sur le degré de température du fourneau. Il est bien évident, sans recourir à aucune démonstration, que moins il y aura de minerai à la fois dans le fourneau, et par conséquent plus la quantité de charbon embrasé sera grande, et plus il y aura de chaleur dégagée dans un temps donné.

Si l'on observe la nature de la fonte à chaque coulée, l'on pourra se convaincre de la vérité de nos assertions. On voit que, dans le commencement du fondage, si le fourneau a été assez échauffé pour que le minerai ait pu fondre, le fer obtenu est gris, quelquefois même noir. Tant que la proportion de minerai reste faible par rapport au charbon, cet effet a lieu; mais, à mesure qu'on augmente le minerai, la fonte passe de plus en plus au blanc.

C'est à l'aide de cette théorie de la fusion et de la marche des fourneaux que l'on peut résoudre

un problème très intéressant pour les maîtres de forges. *Lorsqu'un fourneau va en fonte grise, et que l'on a besoin, pour quelque opération, de fontes très blanches, comment peut-on obtenir cette fonte sans déranger le fourneau?*

Pour obtenir ce résultat, il faut diminuer, pendant plusieurs charges, la proportion du minerai, afin d'échauffer fortement le fourneau; charger ensuite des minerais en excès, et incliner la tuyère par le bas, lorsque la surcharge de minerai est descendue.

Cette surcharge doit être faite avec précaution, et quand on a obtenu la quantité de fonte blanche nécessaire, il faut diminuer de suite la quantité de minerai. Dans le cas où l'on aurait besoin d'une quantité trop considérable de fonte blanche, et que le mode de chargement adopté pour l'obtenir refroidirait trop le fourneau, il conviendrait d'interrompre cette fabrication, c'est-à-dire de recommencer à charger en plein charbon pendant quelque temps, sauf à revenir plus tard au moyen employé pour avoir de la fonte blanche: sans cette précaution il pourrait survenir quelque engorgement dans le fourneau, ce qui est un accident toujours très fâcheux.

Les minerais étant fusibles à des degrés de température très variables, il faut pour chaque espèce une conduite particulière de fondage; la quantité de charbon consumée dans un temps donné est ce qui règle cette température. Tant que la quantité d'oxygène lancée dans le fourneau se combine en totalité avec le charbon, et que l'air sortant par le gueulard n'est qu'un mélange d'acide carbonique et de gaz carburés, on peut augmenter la quantité d'air fournie par les machines soufflantes, et obtenir une température

plus élevée, au moyen de ce que cette nouvelle quantité d'oxygène accélèrera la combustion du charbon, et qu'une plus grande quantité de chaleur sera dégagée dans un temps plus court. Le charbon léger se brûle plus vite, plus facilement que le charbon dur. La même quantité d'oxygène, en traversant toute la capacité du fourneau, peut donc se combiner complétement avec le charbon, selon le degré de combustibilité de celui-ci : d'où il suit que l'on peut augmenter ou diminuer la température du fourneau entre des limites très étendues, en augmentant ou diminuant la quantité d'air lancée par les machines soufflantes, et en changeant la nature du charbon.

Il est bien entendu que le résultat qu'on doit le plus rechercher est d'obtenir la température propre à la fusion du minerai que l'on traite dans le moins de temps possible, et de manière que la même quantité de charbon produise une plus grande masse de fonte de la qualité demandée : on tend à ce résultat en faisant varier la vitesse de la soufflerie. Si le minerai est très fusible, que la charge passe trop rapidement, que la fonte soit trop crue, trop blanche, on peut diminuer la quantité d'air : le fourneau s'échauffera moins, le charbon supportera moins de minerai, la charge descendra plus lentement, et la fonte sera plus grise et plus affinée. Si au contraire la fonte est trop grise, trop affinée, il faut augmenter la quantité d'air lancée par la soufflerie : la température du fourneau s'élève, le charbon brûle plus vite, il peut supporter plus de minerai, la fonte est plus liquide, moins affinée, et la consommation de charbon diminuée.

Comment, à quels signes peut-on reconnaître l'allure du fourneau ? Et quelles sont les corrections possibles, quand il se dérange?

On ne peut pas pénétrer dans l'intérieur des fourneaux embrasés pour observer leur marche: les fondeurs en sont réduits à réunir tous les indices qu'ils peuvent se procurer, afin d'apprendre, ou plutôt de deviner, de juger ce qui se passe; il leur faut, jusqu'à un certain point, prévoir les accidents qui peuvent survenir dans le fondage, afin d'y apporter sans délai les remèdes et les correctifs que les circonstances exigent.

Les signes qui peuvent aider le fondeur sont en très grand nombre. Parmi ceux qui sont susceptibles de le mettre à portée de juger de l'état vrai des choses, il y en a cinq principaux auxquels les fondeurs ont toujours fait beaucoup d'attention, et qui, dans presque toutes les circonstances, leur suffisent. Ces indices sont ceux que leur offrent 1° la fonte, 2° les laitiers, 3° les effets qui ont lieu devant la tuyère, 4° la flamme, 5° le bruissement qui se fait entendre dans le travail.

Lorsque la liquidité de la fonte en coulant est extrême, et qu'elle reste long-temps fluide; qu'elle ne se fige, ne se solidifie que difficilement; qu'en se figeant la surface devient convexe, parce que son volume peut être augmenté en passant de l'état liquide à l'état solide; lorsqu'elle présente des arêtes vives; que la surface se couvre de petites lames brillantes de carbure de fer; enfin que sa cassure donne un grain noir, c'est une preuve que le fourneau est très échauffé, que la proportion de minerai est trop petite, que l'on consume

trop de charbon : on doit, dans ce cas, augmenter la proportion de minerai dans la charge.

Si, au contraire, en débouchant le fourneau, l'on trouve la fonte pâteuse et tenace, coulant difficilement, il faut attribuer cette défectuosité soit à ce que la fonte est trop affinée, c'est-à-dire à ce qu'il y a trop de charbon ; soit à ce qu'elle est trop oxidée, ou qu'il a été chargé trop de minerai : l'une et l'autre cause, quoique très opposées, peuvent produire le même effet relativement seulement à la ténacité de la fonte. Mais d'autres caractères distinguent la fonte obtenue dans l'un et l'autre cas : dans le premier, celui d'une fonte trop affinée, la coulée est brune, elle ne lance point d'étincelles, elle se fige lentement, sa surface devient convexe ; dans le second cas, elle lance un grand nombre d'étincelles brillantes, elle se fige promptement, ses arêtes s'arrondissent, sa surface devient concave parce qu'elle est diminuée de volume en refroidissant ; enfin, par un refroidissement lent, elle est blanche, et présente dans sa cassure des lames plus ou moins grandes. Dans chacun de ces deux cas il faut échauffer davantage le fourneau ; mais, dans le premier, on augmente la quantité d'air lancée par les machines soufflantes, et dans le second, on diminue la proportion de minerai dans la charge.

Quand la fonte coule bien, qu'elle lance de faibles étincelles, qu'elle se fige lentement, que sa surface est plane (parce qu'elle ne change pas de volume en se solidifiant), que sa cassure est truitée, le fourneau est arrivé à un bon point, à une température qu'il doit conserver ; la proportion du charbon brûlé est convenable ; il faut continuer celle du minerai dans les charges, ainsi que la quantité d'air lancée.

Il est bien entendu cependant que dans beaucoup de cas un tel résultat pourrait n'être pas satisfaisant, et qu'il conviendrait de le changer, si on avait pour but particulier d'obtenir une fonte douée de propriétés adaptées à de certains usages : par exemple, il est des circonstances où la fonte blanche que donne un fourneau allant bien est beaucoup plus utile que la grise, principalement lorsque l'on veut la convertir en fer doux, soit en la raffinant seule lorsqu'elle n'est pas trop blanche, soit en la mélangeant avec des fontes grises lorsque l'on en obtient dans d'autres fourneaux. Il est aussi des cas où la fonte grise est nécessaire, soit pour fabriquer de l'acier, soit pour la refondre et la couler en objets qui peuvent et qui doivent être travaillés à la lime et au ciseau. Dans ces circonstances il faut donner au fourneau une allure telle qu'il procure la fonte demandée avec le plus d'économie possible : on y parvient en changeant, en variant la quantité d'air lancée ; on diminue cette quantité pour obtenir une fonte très grise ; on l'augmente pour obtenir de la fonte plus blanche, et cela en conservant une marche uniforme dans le fondage.

Quant aux laitiers, leur état plus favorable est celui où ils sont assez coulants pour se séparer des grains de fer, et assez adhérents pour envelopper les gouttes de la fonte et la garantir de l'action du vent de la tuyère ; ils doivent encore avoir de la ténacité, une apparence de viscosité, et s'étendre en longs fils ; enfin leur caractère essentiel de bonté est de ne tenir en dissolution que très peu de fer. Cet état peut être atteint sans s'écarter de la température convenable à la fonte que l'on a dessein de se procurer, en mélangeant convenablement les minerais, ou en y ajoutant les

fondants nécessaires dans de justes proportions.

Les laitiers peuvent devenir durs et peu coulants, soit en chargeant trop de minerai, soit en en chargeant trop peu : lorsque la proportion de minerai est trop grande relativement au charbon, et que le fourneau se refroidit, le laitier se fige; lorsqu'il y a trop peu de minerai et pas assez de vent, il se fige encore. On distingue ces deux causes en ce que, par excès de minerai, le laitier contient de l'oxide de fer combiné et dissous, qu'il retient même du minerai non fondu, qu'il est noir, homogène, très cassant, quelquefois translucide; et par excès de charbon, au contraire, il est pur, sa couleur est blanche ou grise, il a une grande ténacité, et il renferme des globules de minerai plus ou moins gros, parce qu'ils n'ont pu le traverser.

Le laitier peut être liquide et coulant, soit avec une faible proportion de minerai, le fourneau chauffant trop; soit avec un excès de minerai, le fourneau chauffant assez. Dans le second cas, le laitier dissout de l'oxide de fer, devient liquide, et coule avec une grande facilité; mais il se fige promptement, il a l'apparence vitreuse. Avec trop peu de minerai, le laitier reste tenace, il coule plus lentement, il ne contient pas de fer, il est plus long-temps à se durcir.

Un fourneau qui chauffe trop avec beaucoup de fondant produit un laitier dur, qui coule difficilement, et qui est susceptible de s'attacher aux parois du fourneau et aux outils; ce laitier est blanc, léger après le refroidissement, et on le trouve parsemé de petites écailles luisantes de carbures de fer; enfin il devient sec et cassant : il faut, pour corriger ce laitier, ajouter du minerai riche.

Avec une trop faible quantité de minerai et une proportion de fondants convenables, les laitiers deviennent plus coulants, mais ils sont encore extrêmement tenaces; ils se figent plus lentement, adhèrent moins aux outils, prennent en se refroidissant une apparence plus vitreuse, et sont translucides sur les bords. Dans ces deux circonstances il faut augmenter la proportion de minerai, parce que celle du charbon est indiquée comme trop considérable.

Des laitiers coulants qui se rompent facilement, qui ne donnent que de courts filets en les tirant, et qui sont près de perdre leur fluidité en sortant du fourneau, enfin qui se gonflent et sont lourds, contiennent beaucoup d'oxide de fer dissous et mélangé; ils retiennent même du minerai qui n'est pas fondu. Ces laitiers, qui deviennent caverneux en se refroidissant, indiquent que le fourneau se refroidit, et que la proportion du minerai est trop considérable.

Mais lorsqu'un laitier est coulant, qu'il se tire en longs filets, qu'il ne s'attache pas aux outils, qu'il est moyennement pesant, qu'en se refroidissant il est compacte, peu caverneux, que sa couleur est bleue ou noirâtre, qu'il a l'aspect de la porcelaine, ce laitier est bon, il indique une bonne marche du fourneau, une température convenable et une bonne fusion; il faut continuer les charges.

On peut encore distinguer les laitiers en plongeant dans le bain un ringard ou un crochet froid. Si les scories qui s'y attachent sont blanches, bien vitrifiées, le fourneau chauffe trop; si elles ne s'y attachent qu'en petite quantité, et si le laitier attaché est noir, caverneux, s'il retient même du minerai non fondu, c'est que le fourneau ne

chauffe pas assez : dans le premier cas il faut augmenter le minerai, et le diminuer dans le second.

La tuyère a une ouverture par laquelle l'air entre dans le fourneau : on peut, par cette ouverture, à laquelle quelques fondeurs donnent le nom d'*œil,* observer ce qui se pase dans le bas du fourneau, devant la tuyère.

On voit, par l'œil de la tuyère, le bain de scories, dont l'aspect, la couleur, indiquent la température du fourneau et sa marche : si la couleur est d'un rouge blanc, que le laitier paraisse fluide, la température est trop forte, il faut augmenter le minerai ; si la couleur est noire, la surface du centre rabotcuse, le creuset n'est pas assez chaud, il faut diminuer la proportion du minerai. Pour que l'aspect des scories indique un bon travail, il faut qu'elles paraissent liquides, et que la couleur de leur surface soit d'un rouge verdâtre.

Quand le laitier est trop coulant, on peut craindre qu'il n'attaque, qu'il ne corrode les parois du creuset : on y remédie en variant la charge du minerai et la vitesse du vent. Si le laitier est trop dur, au contraire, et qu'il se colle aux parois, qu'il ait une tendance à engager le creuset, ce défaut pouvant résulter ou de la nature et de la proportion dans la charge du minerai, ou d'une mauvaise disposition dans la tuyère, qui laisse des angles, des parties de creuset non exposées au vent, il faut y apporter le remède que la cause commande ; mais si l'épaississement du laitier était trop considérable, et que l'on ne pût pas attendre, sans danger, l'effet de l'augmentation de la chaleur, on pourrait jeter, par la tuyère, sur le laitier, des minerais corrosifs pulvérisés, contenant des pyrites cuivreuses, ou mieux des rognures de cuivre. Cette correction ne doit cependant avoir lieu

qu'avec beaucoup de circonspection, parce que le cuivre nuit à la bonté de la fonte, et peut rendre brisant à chaud le fer qu'on en obtient, et parce que ce métal, mélangé dans les scories, les rendrait dissolvantes et corrosives au point d'attaquer peut-être trop vivement les parois du creuset. Dans tous les cas, comme ce correctif n'agit que sur les laitiers sur lesquels on le jette, il ne faut pas négliger d'attaquer directement la cause du mal.

La tuyère doit avoir son ouverture libre, afin que l'air sorte facilement et puisse se répandre dans toute la capacité du fourneau. La fonte, en tombant sur le sol de la tuyère, y est souvent refroidie par l'air qui entre dans le fourneau; si le fer liquide était trop refroidi par le vent qui sort de la tuyère, il pourrait s'y fixer et boucher son ouverture.

Le laitier ou la fonte qui s'attachent sur l'extrémité de la tuyère forment un alongement auquel on donne le nom de *nez*: c'est par ce *nez* que l'on juge de la température de plusieurs fourneaux. Le plus souvent on le brise à mesure qu'il se forme.

Comme le nez peut avoir deux causes différentes, soit parce que l'on a trop chargé en minerai, soit parce que l'on a trop chargé en charbon, il faut que les fondeurs sachent distinguer celle qui l'occasione. Dans le premier cas, le nez est formé par du laitier; dans le second, c'est la fonte raffinée. A cette dernière espèce de nez on donne quelquefois le nom de *fer-à-cheval*. Il faut le rompre promptement, et corriger aussitôt la charge qui y a donné lieu.

Le nez de laitier peut se briser assez facilement; celui de fonte est plus dur, et il exige plus de

soins : on est quelquefois obligé de l'attaquer à l'aide du cuivre ou des minerais corrosifs pulvérisés ; souvent même pour le détruire il faut charger, du côté de la tuyère, des minerais qui contiennent des pyrites cuivreuses ; mais cette charge doit être faite modérément, et seulement dans des circonstances urgentes et avec beaucoup de précautions, à cause de la détérioration qu'il y a à craindre pour les parois de *l'ouvrage*.

En regardant les charbons embrasés qui sont un peu au-dessus de la tuyère et qui forment une espèce de voûte, on voit le métal tomber en gouttes plus ou moins grosses. Lorsque le fourneau n'éprouve aucun dérangement particulier, elles se répandent de tous côtés uniformément et dans une proportion à peu près égale ; mais lorsqu'il se forme des engorgements, les gouttes cessent de paraître là où le métal est arrêté ; quelquefois même on voit tomber celui-ci par masses, lorsque les parties engorgées viennent à se détacher.

Selon que le minerai est concassé ou pulvérisé, on observe deux effets différents. Lorsque le fourneau a une marche uniforme, et que le minerai est pulvérisé, on voit couler, devant la tuyère, des gouttes de fonte de couleur rouge éclatant ou sombre : si les gouttes sont d'un rouge blanc éclatant, le fourneau est trop échauffé, on peut augmenter le minerai ; si les gouttes sont d'un rouge sombre obscur, et même noir, le fourneau ne chauffe pas assez, il faut diminuer le minerai. Pour que l'on reconnaisse un fourneau qui chauffe bien, il faut un mélange à peu près égal de gouttes d'un rouge vif et de gouttes d'un rouge sombre. Si le minerai chargé est en fragmens plus ou moins gros, il produit ordinairement des gouttes d'un rouge sombre.

C'est particulièrement sur la couleur totale de la combustion et d'après les changemens qu'on y observe, que l'on peut juger de l'allure du fourneau. Lorsque la couleur du feu est rouge sombre, il y a trop de minerai; si elle est rouge vif, il n'y en a pas assez. Dans un bon fondage, la couleur doit être au rouge clair.

Quant à la couleur que manifestent les gouttes de fonte qui tombent dans le creuset, ce signe est d'une indication moins certaine : car ici les effets peuvent être occasionés ou par la température du fourneau, ou par l'épaisseur de la couche du laitier qui environne les gouttes de fonte. Plus la couche des scories qui recouvre la fonte est épaisse, plus les gouttes doivent être sombres. Lorsque la fonte est pure et dégagée d'enveloppe terreuse, elle brûle en passant devant la tuyère. Les gouttes alors sont d'un rouge vif et blanc; elles lancent même des étincelles brillantes. Il faut bien distinguer, en observant ces accidents de couleur, quelle est la cause qui les produit, afin de savoir quel correctif employer.

La *flamme* produite par la combustion peut être observée en plusieurs endroits, principalement au-desssus du gueulard ou à l'ouverture de la tympe. Immédiatement après la charge, il s'élève de la fumée au-dessus du gueulard, parce que le charbon n'est pas encore assez échauffé; cette fumée s'allume et la flamme se présente sous la forme d'un prisme; sa couleur est un peu brune, elle grandit, s'élève, s'éclaircit, devient conique à mesure que le charbon s'échauffe, et bientôt elle prend une forme et une couleur qu'elle conserve jusqu'à ce qu'on fasse une nouvelle charge.

Quand le fourneau a une marche uniforme, la flamme a elle-même une forme constante ; si la marche varie, la forme et la couleur de la flamme éprouvent aussi des variations.

Si les charges descendent également de tous côtés, si le fourneau n'éprouve pas d'engorgement, c'est du milieu du gueulard que sort la flamme : alors elle s'élève verticalement ; tandis que, si la charge penche en descendant, ou si le fourneau s'engorge d'un côté, la flamme se porte du côté libre, où l'air éprouve moins de difficulté à sortir.

On peut s'assurer de celle des deux causes qui fait dévier la flamme en examinant la chute des gouttes de fonte devant la tuyère et la forme que prend la charge près du gueulard, lorsqu'elle est descendue : si la charge s'incline, la partie supérieure penche en descendant.

Quand la température du fourneau est trop grande, qu'il se brûle du fer, qu'il y a trop peu de minerai relativement à la quantité de charbon, la flamme est vive, sa couleur est d'un vert bleuâtre, elle est parsemée d'étincelles brillantes, elle s'élève très haut ; sa forme est celle d'une spirale terminée en pointe aiguë. Si la flamme est moins vive, que sa couleur soit jaune, qu'elle soit élevée, que sa forme soit celle d'un cône tronqué, mais dont la troncature soit large, que la fumée fasse disparaître une partie de la flamme lorsque l'on charge, et que celle-ci soit un peu de temps à se rétablir, c'est une preuve que le fourneau ne chauffe pas assez, que la charge de minerai est trop grande ; il faut la diminuer. Le signe d'un fourneau allant bien est une flamme belle, moyennement vive, d'un jaune verdâtre, assez élevée et en forme de cône tronqué ; il est

bon même qu'elle laisse apercevoir, mais rarement, quelques étincelles. Dans ces circonstances on peut continuer la charge.

Quant à la flamme qui sort par la tympe, elle s'étend de même plus ou moins en longueur; elle présente des couleurs et des éclats différents : si elle est très vive, et d'un vert bleuâtre, le fourneau chauffe trop; lorsqu'elle est d'un rouge sombre, qu'elle a peu d'éclat, il ne chauffe pas assez. On reconnaît que le fourneau chauffe bien lorsque cette flamme est d'un rouge bleuâtre clair.

On appelle *bruissement* le son, le bruit particulier occasioné par le mouvement de l'air dans le fourneau. Lorsque le travail est inégal, qu'il s'accumule des masses dans l'intérieur, particulièrement sur les étalages, que ces masses se fondent, se détachent, et qu'elles coulent dans le creuset, le *bruissement* est inégal comme le travail : tantôt il est fort, tantôt il est faible, et cela suivant que l'air éprouve plus ou moins de difficulté pour pénétrer à travers la masse de charbon et de minerai, pour s'élever dans le fourneau. Mais si le travail marche uniformément, le bruissement est égal et uniforme.

Chacun de ces cinq caractères, assignés par les fondeurs en général pour reconnaître la marche d'un fourneau dans l'intérieur, ne suffirait pas seul pour fixer l'opinion qu'on doit s'en former; mais il serait difficile qu'en observant le concours de tous les cinq, ou seulement de plusieurs d'entre eux, on s'abandonnât à des erreurs.

Des accidents qui peuvent survenir pendant le fondage.

Le travail d'un haut fourneau peut être interrompu par différents accidents qui forcent à l'arrêter ou à le suspendre pendant quelque temps.

Ces accidents peuvent être dus à des causes différentes ; ils sont en très grand nombre ; on peut en observer sept principaux : 1° la fusion des parois, 2° l'engorgement intérieur du fourneau, 3° la descente inégale des charges, 4° la difficulté de déboucher la coulée, 5° le gonflement du laitier dans le creuset, 6° l'engorgement du creuset, 7° la fusion du creuset.

Le garde-feu doit étudier avec soin la marche de son fourneau ; les ouvriers doivent être surveillés scrupuleusement ; il faut qu'il sache d'avance prévoir les accidents qui peuvent arriver, et y porter de suite les remèdes convenables.

La *fusion des parois* peut avoir lieu de deux manières, ou parce que les matières dont elles sont formées ont une fusibilité naturelle, ou parce que les minerais que l'on fond peuvent avoir sur elles une action qui les attaque et les détruise.

Quelquefois les mortiers qui joignent les pierres des parois et de l'ouvrage sont naturellement fusibles ; ils se liquéfient et coulent lorsque l'on met le fourneau en feu. Mais cette liquéfaction cesse ordinairement lorsque ces mortiers sont fondus ; elle continue si les pierres des parois sont également fusibles, et cette continuation peut devenir nuisible en ce qu'elle augmente la capacité du fourneau, et qu'elle le détruit à un tel point qu'on est presque toujours forcé de *mettre hors*.

Souvent il suffit de charger des fondants ou de la custine le long des parois : les terres fondues les couvrent et les enduisent d'un verre terreux qui suspend et arrête même leur fusion.

Les mines sulfureuses, corrosives, dites *chaudes*, attaquent les parois du fourneau et les fondent. On peut préserver les pierres de leur action en chargeant ces sortes de minerais au milieu des charbons, afin que ce combustible forme une espèce de rempart qui garantisse les parois ; souvent aussi on mêle ces mines chaudes avec un minerai réfractaire qui détruit par son action les effets corrosifs des premières. Lorsque l'action corrosive n'est exercée que d'un côté, c'est vers celui-ci seulement que l'on charge les minerais réfractaires. C'est ordinairement du côté de la tuyère que la corrosion est plus prononcée.

Dans les cas les plus ordinaires, ces remèdes suffisent ; mais quand les pierres sont par trop fusibles, ou les minerais par trop corrosifs, il est indispensable d'arrêter le fourneau et *mettre hors*.

L'engorgement intérieur du fourneau peut avoir plusieurs causes : 1° les minerais peuvent se coller sur les parois, ou être arrêtés sur les étalages, si le fourneau n'a pas une température assez élevée, et que la charge du minerai soit trop considérable ; 2° la fonte qui descend trop lentement dans un fourneau peu échauffé peut, pendant sa descente, se raffiner, se figer contre les parois, et être retenue sur les étalages.

Ces défauts ont souvent lieu lorsque l'on charge des minerais trop réfractaires ou trop riches, et surtout s'ils ont été pulvérisés, lorsque les étalages sont trop inclinés, et enfin si, au commencement d'un fondage, on charge des minerais contre les parois, avant que ceux-ci ne soient assez échauf-

fés. Si le garde aperçoit le mal au moment où il commence, il peut y remédier en ajoutant des fondants à la charge, ou en mêlant des minerais très fusibles avec ceux qui sont réfractaires; en ajoutant des fondants ou des minerais pauvres à ceux qui sont trop riches, et en augmentant la quantité d'air lancée dans le fourneau, afin de faire descendre la charge plus promptement; enfin, en diminuant la charge du minerai, si elle est trop forte.

Lorsque l'engorgement est trop avancé, et que ces remèdes n'agissent pas assez promptement, ni assez efficacement, il faut suspendre un moment le travail, boucher la tympe et la tuyère, et arrêter les machines soufflantes. Souvent quelques instants de repos suffisent pour faire détacher les premières masses.

S'il reste encore, après cette suspension, des matières figées dans l'intérieur du fourneau, il faut alternativement faire mouvoir et arrêter les machines soufflantes.

On peut détruire l'engorgement par ce moyen, qui est très simple, lorsqu'il y a peu de temps que les matières se sont figées, et lorsqu'elles ne sont pas en grande quantité; mais il y a des engorgements tellement avancés qu'ils résistent à ces recours et forcent à *mettre hors*.

La descente des charges peut être trop prompte ou trop lente, ou inégale ou inclinée.

Ordinairement la descente est trop prompte lorsque le charbon est trop léger et trop faible, que la quantité d'air fournie par les machines soufflantes est trop considérable, que la bouche ou l'œil de la tuyère est trop large, enfin que la tuyère est trop inclinée par le haut.

Au contraire, la descente est trop lente; lors-

que le charbon est trop fort, que la quantité d'air fournie par la soufflerie est trop petite, que l'œil de la tuyère a trop peu d'ouverture, et que la tuyère elle-même est trop inclinée vers le bas.

La descente est inégale lorsqu'il se forme des engorgements dans l'intérieur, et que les matières accumulées se brisent, se séparent entièrement ou partiellement, et tombent dans le creuset.

Enfin la charge penche, s'incline en descendant, 1° parce que des pierres saillantes ou des masses figées, accumulées le long des parois, arrêtent et suspendent la charge; 2° parce qu'il s'est formé des creux dans les parois, qui se sont fondus inégalement; 3° par la direction des parois de la cuve du fourneau. On distingue cette inclinaison et le côté vers lequel penche la charge par la situation qu'elle prend dans le gueulard lorsqu'elle est descendue, et par la distribution inégale des matières qui coulent devant la tuyère. On remédie au premier inconvénient en détruisant les engorgements et leurs causes, et aux deuxième et troisième en dévoyant la charge ou en l'accumulant du côté où elle s'incline.

La *difficulté de déboucher la coulée* a lieu dans trois circonstances différentes : 1° lorsque les fondeurs n'ont pas assez bien nettoyé le trou de la coulée avant de le boucher, qu'ils y ont laissé du laitier ou du fer, ce qui fait fondre ou durcir le tampon; 2° lorsque la coulée est restée trop long-temps bouchée, défaut qui a lieu assez ordinairement dans les fourneaux où l'on coule à la poche; 3° lorsque la fonte se fige contre le tampon, soit par l'effet de son affinage, ou parce que, les canaux d'évaporation étant fermés, l'humidité est obligée de remonter jusqu'au creuset, où elle fige la fonte.

On fait cesser le mal, aussitôt que la cause en est connue, en y portant le remède qu'il exige. On attaque le tampon soit en frappant à coup de masse sur le ringard que l'on y fixe, soit en jetant sur les laitiers ou sur la fonte figée de la poussière de minerai corrosif.

Le *gonflement du laitier* dans le creuset peut provenir 1° des charges de minerai mal grillé, 2° de la chute des matières qui engorgent le fourneau, 3° d'une diminution dans la température, occasionée par du charbon trop humide.

On observe toujours que le mélange des deux espèces de fonte oxidée et carburée, en tombant dans le creuset, donne naissance à de l'acide carbonique ou à de l'oxide de carbone qui se dégage à travers les scories tenaces et les transforme en une espèce d'écume. En se gonflant, le laitier s'élève jusqu'au bord de la tuyère; il sort par l'œil, et pénètre jusque dans les buses des machines soufflantes; quelquefois même il s'élève au-dessus de la tuyère. Le laitier gonflé et exposé au vent froid des machines se durcit aussitôt.

Lorsque ce gonflement commence, le fondeur ne doit en avoir aucune inquiétude: il doit se contenter simplement d'observer sa marche. Le plus souvent le laitier s'élève et redescend de lui-même: il suffit d'augmenter le vent, afin d'échauffer davantage le fourneau et de donner plus de liquidité aux verres terreux, pour faire cesser le gonflement, faciliter l'écoulement des laitiers. On peut encore le haller par la tympe; mais, s'il augmentait au point de toucher les bords de la tuyère et de pénétrer jusque dans les buses des machines soufflantes, il faudrait alors refroidir promptement le laitier qui sort ainsi du fourneau, en jetant de l'eau dessus, puis le briser, le haller

dehors, et retirer aussitôt celui qui serait entré dans les buses, afin d'empêcher qu'il ne mît le feu aux machines soufflantes.

L'*engorgement du creuset* peut être occasioné par les substances qui tombent dedans, ou par des accidents particuliers auxquels il est sujet.

Habituellement les fourneaux trop chargés en minerais ont une température trop basse; l'oxide de fer et le laitier tombent dans le creuset n'étant encore qu'à demi fondus, et s'attachent aux parois; mais, d'un autre côté, les fourneaux trop chargés en charbon affinent la fonte, qui tombe pâteuse et s'attache à la pierre du fond. Il faut d'abord corriger la charge, puis faire fondre les laitiers et la fonte, soit en augmentant la température du fourneau, soit en ajoutant à la charge et dans le creuset des minerais très fusibles, souvent des minerais corrosifs, quelquefois même des pyrites cuivreuses, ou en jetant un peu de cuivre par la tuyère. C'est une dernière ressource, et ce doit être un pis-aller. Si elle ne réussit pas, il faut se décider à *mettre hors*.

En pénétrant sur le fond et les faces du creuset, l'humidité les refroidit; elle fait figer la fonte et les laitiers, et ceux-ci s'attachent sur les pierres qu'ils touchent. Ce refroidissement provient quelquefois de l'obstruction des canaux construits pour faire écouler l'humidité, et de la difficulté que la vapeur éprouve à s'échapper. Dans cette circonstance, il faut que le garde-feu s'occupe en même temps de détruire la cause et l'effet qu'elle produit: d'abord qu'il débouche les canaux, et qu'il y établisse un courant d'eau qui puisse entraîner toute l'humidité; ensuite qu'il ôte la dame, qu'il débarrasse le creuset, qu'il le nettoie, et enfin qu'il fasse reprendre le travail avec précaution.

La *fusion du creuset* a lieu lorsque les matières qui le composent ne sont pas assez réfractaires, et que les minerais fondus sont trop corrosifs. Souvent la pierre du fond, les joints des costières, se fondent; le fer liquide passe à travers; il s'insinue, s'infiltre partout en conservant sa liquidité; quelquefois même il pénètre jusque dans les canaux d'humidité, les obstrue, et la fonte se fige dans le creuset. Il est difficile de remédier au mal quand il est arrivé, mais lorsqu'on peut le prévoir, on change la proportion et la nature du minerai; on jette contre les parois du creuset des fondants qui puissent, en coulant, enduire ses faces et les préserver de la fusion. Quand il n'y a plus de remède, on *met hors*.

Néanmoins, la diminution dans la charge du minerai n'est pas, dans tous les cas, un remède immédiatement efficace : car si le fourneau a été extrêmement refroidi, il faut continuer à diminuer le minerai de plus en plus; il peut même arriver qu'on soit forcé de le supprimer entièrement, de ne charger qu'en charbon. Lorsque enfin on a obtenu l'effet désiré, il faut avoir attention de ne revenir que progressivement et lentement au cours habituel des charges de minerai, jusqu'à ce que la marche régulière du fourneau soit rétablie, en se conformant d'ailleurs à toutes les précautions que nous avons indiquées à l'article de la mise en train.

De la suspension du travail par des causes étrangères à la marche du fourneau.

Il peut arriver que l'on soit forcé, par cause majeure, d'arrêter un fourneau dont la marche

est bonne : tel est le cas d'accident arrivé aux machines soufflantes ; l'inondation, ou le manque absolu d'eau pour les faire mouvoir, quand c'est l'eau qui est le moteur ; le manque de minerais ou de combustibles, etc., etc.

Quand la cause de la suspension du travail est de nature à durer seulement quelques heures, on coule la fonte, on nettoie le creuset, on retire les buses, on bouche la tuyère ; on tire du charbon dans l'avant-foyer, on le couvre de poussier, que l'on recouvre lui-même d'une couche de sable de plusieurs pouces d'épaisseur. Pour reprendre le travail, on débouche la tympe, on sort le sable ; on enlève la masse de laitier refroidie, ou de scories contenant du fraisil, des charbons, des grumeaux de fer, et que les fondeurs appellent la *sorne ;* on brise avec des ringards le laitier dur qui s'est solidifié ; on remet la buse, et on donne le vent.

Quand l'emploi du charbon est très considérable relativement au minerai, et que les charges de ce combustible se renouvellent fréquemment, quelquefois de deux heures en deux heures, comme en Suède, si l'on attend qu'une charge soit passée avant d'arrêter le fourneau, on peut laisser la tuyère et la tympe ouvertes pendant le court espace de temps que dure la suspension du travail. L'air qui passe par ces deux ouvertures entretient la combustion, et le charbon qui continue à brûler suffit à maintenir le fourneau à une température telle qu'il y a moins de danger à la reprise du travail.

Mais si la cause de suspension doit durer pendant plusieurs jours ou plusieurs semaines, il en est tout autrement des précautions à prendre.

Dès que l'on est décidé à suspendre la fusion, il faut cesser de charger avec du minerai ; et lors-

que toutes les charges contenues dans le fourneau sont descendues, que celui-ci ne contient plus que du charbon, on retire la buse, on coule la fonte, on nettoie le creuset, on bouche la tuyère avec un tampon d'argile, on nettoie la dame, quelquefois on la sort pour enlever toutes les matières qui auraient pu s'y attacher, on la repose ensuite, on bouche la tympe; on remplit le gueulard, que l'on bouche avec des plaques de fonte, en y laissant cependant quelques vides, à cause de la grande chaleur. On abandonne ainsi le fourneau pendant tout le temps que le travail reste suspendu, avec la précaution de l'entretenir de charbon, afin de fournir à la petite consommation qui a lieu pour conserver la température. Pour cela on sonde de temps à autre avec la *bécasse*, au moins une fois par jour, et l'on remet du charbon toutes les fois que l'espace vide peut en contenir une charge; souvent on laisse aux plaques de fer qui bouchent la tympe une ouverture que l'on bouche avec un tampon, et que l'on ôte de temps à autre pour faciliter l'entrée d'une petite quantité d'air.

Les circonstances qui avaient forcé à l'interruption du travail venant à cesser, on ouvre le gueulard et la tympe, on charge un peu de minerai sur le premier charbon, on débouche la tuyère, on remet la buse, et, selon la température que le fourneau a conservée, on fait aller de suite la soufflerie lorsque le minerai est prêt d'arriver. On augmente la proportion de minerai à chaque charge. En un mot, pour remettre en activité un fourneau dont le travail avait été suspendu, on se comporte à son égard d'une manière tout-à-fait analogue à ce qui se pratique pour la première mise en feu.

Sous le rapport de la consommation du charbon que l'on emploie pour maintenir la température du fourneau pendant la suspension du fondage, il pourrait être plus économique, quand cette suspension doit durer long-temps, d'éteindre ou mettre hors, sauf à recommencer une nouvelle mise en feu. Cependant il ne faut pas perdre de vue que celle-ci exige plus de précautions, qu'elle est plus lente, plus sujette à faire varier les résultats du fondage : c'est au maître de forges, d'après le prix de son combustible et les circonstances dans lesquelles il se voit placé, à calculer les avantages et les inconvénients, pour décider le parti qu'il prendra. Les fourneaux dont la *cheminée* est en pierre calcaire, surtout, offrent un grand obstacle à la cessation du chauffage pendant un certain temps : dans ce cas l'humidité de l'air qui y pénètre se combine avec la chaux vive qui s'est formée et l'effleurit ; les parois se détruisent, et il faut les refaire avant que de remettre en feu.

De la cessation définitive du fondage ou de la mise hors.

La durée d'un fondage ordinaire est de 9 à 11 mois. Quelques fourneaux vont jusqu'à 15 ; mais cela est très rare.

Lorsque la dégradation des parois est parvenue à un point qui nécessite la mise hors, il faut avoir attention de ne pas refroidir trop brusquement le fourneau, ce qui pourrait occasioner un retrait trop inégal dans la masse, d'où résulteraient des déplacements très préjudiciables à la solidité tout comme à la marche ultérieure du fourneau. La diminution de température doit être progressive

tout comme l'augmentation l'a été lors de la mise en feu.

On obtient cette progression de deux manières : 1° en diminuant la charge du combustible, mais du minerai en même temps, afin d'éviter l'engorgement ; 2° en diminuant le vent des machines soufflantes.

La diminution dans les charges varie. En Suède, dit Garney, où la charge est de 20 *baches* de minerai, dont le poids est de 10 à 12 quintaux, on divise cette progression décroissante en 12 charges, de manière que la dernière soit de 4 baches, c'est-à-dire de la charge totale, ou de deux quintaux environ. La diminution succesive des charges dure communément de 12 à 24 heures.

Il est bon de mettre à part la fonte provenant de ces dernières charges diminuées, qui n'est jamais aussi parfaite que celle obtenue du fourneau en plein travail. Pour cela il faut couler seule et sans mélange la fonte qui est dans le creuset au moment où la première charge diminuée y arrive. On continue à donner la quantité de vent ordinaire pendant trois à six heures après que la première charge du minerai diminuée est descendue, après quoi on en donne moins : cette durée dépend de la progression que l'on a adoptée dans la charge du minerai. Tant que les charges n'ont pas diminué d'une quantité sensible, on peut continuer à donner le même vent ; mais, dès que l'on a commencé à en donner moins, il faut continuer progressivement cette diminution, de manière à ne laisser arriver dans le fourneau que la sixième ou la huitième partie de l'air ordinaire, au moment où la dernière charge de minerai passe.

Après avoir mis la dernière couche de minerai,

et lorsqu'elle est assez descendue dans le fourneau, on charge par-dessus 6 à 10 pieds cubes de charbon pur : alors le fourneau se vide peu à peu, et il reste un grand espace sans charbon. Il s'élève au-dessus du combustible une flamme qui remplit toute la capacité du vide ; cette flamme attaque les parois déjà échauffées, et quelquefois même les fait fondre. Pour diminuer son action on jette sur le charbon embrasé du poussier qui abat la flamme, l'empêche de s'élever, et suspend son effet. Mais comme la chaleur qui se dégage du combustible a bientôt vaincu l'action du poussier, la flamme paraît de nouveau et attaque encore les parois. Le fondeur, dans ce moment, doit redoubler d'attention ; il lui faut alternativement suspendre le jet de la soufflerie ou le restituer, de manière à conserver assez de chaleur pour fondre les dernières parties de minerai, sans qu'il y en ait au-delà de ce qu'il en faut, afin que les parois du fourneau ne soient pas attaquées. Avec des soins et de l'attention on peut toujours obtenir cette température moyenne.

Toute la fonte étant parvenue dans le creuset, et la dernière coulée étant faite, on nettoie l'*ouvrage* avec soin, et l'on s'occupe du refroidissement du fourneau. Voici en propres mots comment Garney indique les quatre opérations par lesquelles se termine un fondage.

« 1° Aussitôt que la fonte est sortie du creuset, « on débouche le trou de la tuyère, afin de pou- « voir plus commodément travailler dans le four- « neau ; on remet ensuite la soufflerie en jeu pen- « dant trois ou quatre jours, pour que l'air froid « qu'elle lance fasse refroidir le fourneau : autre- « ment la chaleur, se répandant au dehors, pour- « rait nuire à l'enveloppe ; d'ailleurs, sans cette

« précaution, le fourneau se refroidirait trop « lentement.

« 2° On enlève la tympe et toute la muraille « intérieure; on sort avec des outils convenables « tout ce qui est resté au fond du creuset, de ma- « nière que la pierre de sol soit bien nette. Par « ce moyen on a plus de facilité non seulement « pour enlever la fonte qui est encore dans le « creuset, mais encore pour nettoyer l'*ouvrage*, « surtout lorsqu'il peut encore servir pour un se- « cond fondage.

« 3° On sort avec des crochets tous les char- « bons qui restent dans le fourneau; on les « éteint avec de l'eau à leur sortie, et on nettoie « bien la partie supérieure de l'ouvrage.

« 4° La tympe est enlevée, ainsi que les pierres « de l'avant-foyer, parce qu'elles ne peuvent ja- « mais servir à un second fondage: on fait alors, « sur le devant du fourneau, une grande ouver- « ture pour procurer un accès plus facile à l'air, « et accélérer le refroidissement.

« Le travail du fondeur est alors entièrement « terminé. Il faut cependant visiter encore le « fourneau de temps en temps, et cela pendant « deux ou trois semaines, afin de voir si quelques « parties ne courent pas le rique de s'embraser. « Au bout de ce temps, et même plus tôt dans les « temps froids, le tout étant bien refroidi, il faut « couvrir le fourneau. »

Le fondeur doit apporter tous ses soins à la *mise hors* du fourneau. C'est de la manière d'être des parois après le fondage que l'on juge des soins et de l'attention du fondeur. Il est de son intérêt, après la mise hors, lorsque le fourneau est refroidi, que les parois soient lisses, propres, exemptes de toute crasse, de laitier et de minerai mal fondu.

DE L'EMPLOI DE LA FONTE EN FUSION.

I. FONTES MOULÉES.

Il serait superflu de donner ici le détail de tous les objets, de toutes les pièces de machines, de tous les ustensiles qui se jettent en moule avec la fonte en fusion.

Les machines à vapeur, les cylindres et appareils de soufflerie pour les hauts fourneaux, les roues hydrauliques, les conduites d'eau et de gaz pour l'éclairage, les plaques de toute espèce, les cornues pour la distillation d'un grand nombre de substances, font la matière du moulage des grosses pièces, et, dans ces derniers temps, la construction des toits et de plusieurs autres parties des édifices est venue ajouter considérablement à cet emploi déjà très étendu, et qui comprend aussi les pièces d'artillerie, les bombes et les boulets.

Le moulage des moindres pièces, qui est le plus généralement pratiqué et à l'aide d'appareils moins coûteux, n'en est pas moins d'une grande utilité à la société, et principalement pour le bien-être des classes peu fortunées. La salubrité, le bas prix des ustensiles de cuisine et de ménage, que le peuple peut aujourd'hui se procurer en abondance, sont un des bienfaits dus à l'industrie et à l'établissement des hauts fourneaux nombreux qui couvrent le sol de la France. Cette dernière classe de produits est généralement connue sous le nom de *poterie*, par analogie avec la poterie de terre, avec celle d'étain.

L'art du moulage des fontes a fait récemment

de grands progrès. Les propriétés de la fonte grise, dite *fonte douce*, qui se laisse limer, entamer par le ciseau, alléser, forer et tourner avec la plus grande facilité, la rendent bien précieuse. Jusqu'à ces derniers temps, les Anglais avaient été seuls en possession de fournir à nos besoins les fontes grises de première qualité, si utiles dans une foule d'arts, et même encore aujourd'hui il en importent beaucoup en France, malgré les droits dont elle est frappée à l'entrée. Mais nous marchons rapidement vers un état de choses plus en rapport avec nos connaissances. Déjà plusieurs maîtres de forges français, pleins d'activité et de talents, ont prouvé, par les produits qu'ils ont mis dans le commerce, que nous ne pouvons manquer de nous trouver en état de nous suffire à nous-mêmes, avant long-temps, pour ce qui est des fontes douces.

Cet objet est de toute importance. En effet, dans la construction des machines il est beaucoup de pièces qui ne pourraient absolument être fabriquées en bois, et, pour beaucoup d'autres, l'emploi de cette matière serait accompagné des plus graves inconvénients. Les pièces se déjetteraient, se fendraient, et les mouvements qu'elles auraient été destinées à produire perdraient, par cette variation dans les formes, la régularité requise : telles sont les roues d'engrenage, etc. Avant d'avoir appris le travail de la fonte douce, on fabriquait ces pièces en fer forgé, ou bien on les coulait en cuivre allié ; aujourd'hui, on les coule avec beaucoup de succès en fonte de fer, et par ce moyen on fait une immense économie, ce qui permet d'en multiplier considérablement l'emploi.

Ce n'est que depuis bien peu de temps que le coulage des grandes pièces et des pièces de gran-

de sujétion a pris quelque essor en France, et, il faut l'avouer, c'est aux ouvriers anglais que nous en sommes principalement redevables.

Quant aux ouvrages de petit volume, mais à ornements délicats, nous étions déjà par nous-mêmes assez avancés; nous le sommes peut-être plus que les Anglais. Dès l'année 1804, l'inspecteur général des mines Gillet-Laumont fit couler à Paris et présenta à la Société d'encouragement deux médailles d'un travail très achevé, et qui pouvaient le disputer en netteté et en élégance à tout ce qui se fait de mieux en ce genre à Walkenriedschen, dans le Blanckenbourg, ou au Hartz, ou à Mallapam en Silésie. M. de Launay, très habile homme, qui a dirigé la coulée des fontes pour les ponts de fer construits à Paris, a également offert à la Société d'encouragement des fragments d'un bas-relief en fonte de fer dignes d'être admirés. Au surplus, la connaissance de cet art date d'une époque très reculée en France. Déjà notre Réaumur, célèbre à si juste titre, et qui a dévancé les contemporains dans presque toutes les découvertes aujourd'hui si vantées, avait publié, dans son *Art d'adoucir le fer fondu*, les moyens de couler les ornements délicats.

Nous avons aujourd'hui chez nous, dans une forge des Ardennes, un sieur Davenne qui a présenté, en fer fondu, des outils de taillanderie, de menuiserie, de serrurerie, tels que haches, ciseaux, becs-d'âne, tas, étaux, gros ciseaux à découper, forces, etc. Dans le plus grand nombre des cas, ces outils sont d'un très bon service. M. Davenne a déjà eu de nombreux imitateurs, et les produits de leurs fabriques ont été très bien accueillis par le public. On doit s'attendre à de

grands perfectionnements et à une révolution complète dans cette partie.

Déjà, à Lyon, le fondeur Dubois et MM. Frère-Jean coulent des cuillers, des fourchettes, des couteaux, des ciseaux, des rasoirs, etc., qui peuvent très bien remplacer ceux en fer forgé.

TRAVAUX GÉNÉRAUX.

On peut directement couler la fonte des hauts fourneaux dans les moules. Mais souvent on la fond une seconde fois avant de la mouler. Le déchet de la fonte dans ce travail, les jets qui en proviennent, etc., peuvent être employés soit à la fabrication du fer ou de l'acier, soit à couler d'autres objets.

Pour obtenir la fonte dans les hauts fourneaux, on consume entre 1 et 4 parties pondérables de combustible pour une de fonte : la moyenne est 1.5. — La quantité de combustible employée pour refondre la gueuse varie entre 0.40 et 1.00 partie de combustible pour une de fonte ; moyenne 0.70. Dans le procédé d'une refonte des gueuses, on consume donc entre 1, 4 et 5 parties de combustible pour en obtenir une de fonte moulée ; la moyenne est de 2.2.

Le fer obtenu dans les bas fourneaux, par la méthode à la catalane, brûle entre 3 et 4 parties de charbon pour une de fer ; la moyenne est de 3.5. Le fer obtenu par les doubles opérations de la fusion au haut fourneau et de l'affinage consume 5 à 9 parties de charbon pour une de fer ; moyenne 7.

Il suit de ces rapports sur la consommation du charbon, pour obtenir les mêmes objets en

fer forgé ou en fonte moulée, que la différence dans la consommation du charbon est dans la proportion de 5 à 1.

Mais la perte du fer et la main-d'œuvre dans ces deux opérations augmentent encore de beaucoup la différence dans les frais pour les deux sortes de matières. La construction du moule, la réparation des objets coulés ou l'ébarbage, n'exigent pas une dépense considérable. On peut, en portant ces frais au plus haut prix, en supposer la valeur égale à celle du travail du fer dans la forge. Dans cette supposition, dont le désavantage est évidemment forcé pour la fonte moulée, il reste encore toute l'économie du charbon et du fer brûlé que le travail de la forge présente. D'ailleurs le fer forgé est rarement employé comme il sort des forges : les ouvriers en fer sont obligés de lui faire subir un nouveau travail. Pour en former les différents objets que l'on veut approprier aux usages auxquels on les destine, il il faut forger le fer, le couper, le limer, l'ajuster. Ce travail nécessite des frais de combustible, de fer et de main-d'œuvre, dont la valeur est d'autant plus grande que les objets exigent un travail plus soigné. Par exemple, Réaumur, en s'occupant spécialement de ce genre de comparaison dans les prix, a trouvé que les marteaux de portes cochères travaillés à la forge, exigeaient une dépense qui était à celle des mêmes objets en fonte coulée comme 20 : 1.

Des moules pour le coulage de la fonte.

Les moules pour la fonte sont ordinairement divisés en quatre espèces, relativement à leur ma-

nière d'être et à la matière dont ils sont composés.

1. *Moules découverts.*

Ce sont ceux dans lesquels on ne forme d'empreinte que sur l'une des faces de la pièce ; l'autre, qui reste à découvert, et dont la position est horizontale, prend une forme plane. Ces moules sont des creux faits dans du sable, dans de la terre ou dans toute autre matière à laquelle il soit possible d'imprimer une forme durable et solide. On y coule la fonte liquide ; sur l'une des faces elle se moule sur le fond du creux, tandis que de l'autre, restée exposée à l'action de l'air, elle se refroidit rapidement et se crible de trous plus ou moins nombreux et plus ou moins grands. Cette perforation est le résultat de l'extension inégale de la masse du fer pendant sa solidification. C'est communément à moules découverts que l'on fond les plaques, les contre-cœurs de cheminées, les plaques de poêles, les marteaux de forge, les enclumes, les poids à peser, les lests pour la marine, et en général tous les objets qui ont une face droite et qui peut sans grand inconvénient rester couverte d'aspérités ou creusée de cavités.

Ordinairement les moules de cette espèce se creusent dans l'embrasure du devant du fourneau. On les place vis-à-vis de la *tympe*, à une petite distance du trou du *chio*, c'est-à-dire de l'ouverture de la percée, et cela afin que la fonte puisse être coulée directement du haut fourneau dans ces moules.

La surface du sol sur laquelle on creuse les moules doit être couverte d'une couche plus ou

moins épaisse de bon sable à mouler : la profondeur de cette couche dépend de la grosseur et de l'épaisseur des pièces que l'on se propose d'obtenir. Quand on ne veut couler que des plaques de poêle ou des contre-cœurs de cheminées, quelques pouces d'épaisseur de sable suffisent ; mais si l'on veut couler des poids, des marteaux, des enclumes, l'épaisseur du sable doit évidemment être proportionnée à celle de ces pièces.

La terre propre au moulage est composée de silex et d'argile, à quoi on mêle souvent du poussier de charbon. Les proportions respectives de ces trois substances doivent être telles, que le composé puisse se diviser facilement, avoir assez de consistance pour conserver la forme qu'on lui imprime, et ne rien perdre des reliefs qui y sont pratiqués. L'argile donne du liant au composé, et le charbon interposé diminue la fusibilité des terres.

Selon que l'on veut obtenir des empreintes plus ou moins belles, le sable doit être plus ou moins fin : on se sert à cet effet de tamis de différents échantillons. Le sable de moyenne grosseur donne des moules plus solides, le retrait en est plus égal et moins considérable, la fonte réussit mieux, l'humidité s'en dégage plus facilement, et il y a par conséquent moins de risque de boursouflure. On ne fait usage de sable fin que dans le cas où le fini des reliefs l'exige absolument ; et, dans cette circonstance, il est souvent préférable de faire le corps du moule en sable moyen, et de couvrir le modèle seulement d'une légère couche de sable très fin, parce qu'alors les parties fines et délicates des reliefs se moulent plus exactement.

L'expérience seule peut donner une indication sûre sur l'espèce de sable qui convient aux mou-

les dans chaque localité. Quand naturellement on n'en trouve pas dans le voisinage de la fonderie, il faut avoir recours à une composition artificielle, et faire un mélange convenable de sable siliceux sec, d'argile et de poussier de charbon.

Après avoir divisé avec la pelle et la pioche le sable à mouler qui recouvre la surface du sol, après l'avoir *ameubli*, on l'humecte légèrement, pour lui donner du liant. On l'unit simplement avec le rabot, si c'est une plaque que l'on veut mouler; mais si c'est un objet de plusieurs centimètres d'épaisseur dont on veuille prendre l'empreinte, on creuse l'enfoncement dans lequel on doit placer le modèle, et alors on le pose sur le sable; on le presse, on le comprime et on l'enfonce avec précaution, afin de maintenir la surface supérieure dans une position horizontale; on place même le niveau sur le modèle, pour s'assurer mieux de cet effet. Quand le modèle est dans une position convenable, que le sable est bien comprimé, on bat et on refoule la terre sur le côté avec le maillet, afin de la rendre plus fixe et d'avoir plus de solidité. Lorsque l'on juge que l'empreinte a été bien marquée sur le moule, on retire le modèle avec beaucoup de précaution, en le maintenant constamment dans la position verticale, pour ne pas dégrader les empreintes délicates qui ont été formées; on creuse ensuite le canal ou l'ouverture par laquelle la fonte doit entrer. Cette coulée doit être simple et a une seule ouverture dans les petites pièces, et double ou à deux ouvertures dans les grandes pièces

Ou les pièces sont pleines, ou elles portent des vides. On conserve ceux-ci en remplissant avec du sable l'espace où ils doivent exister, ou en y

fixant des noyaux de terre. Quant aux ouvertures qui traversent les pièces, telles que les trous circulaires des tuyaux, les trous carrés des plaques de poêles, des ouvertures de portes, des têtes de marteaux, pour ceux-là on fixe dans le creux du moule le massif qui doit former le vide. Ces sortes de noyaux, s'ils sont cylindriques, se font ordinairement au moyen d'anneaux ou de cercles de bois ou de fer, que l'on pose dans l'emplacement qu'ils doivent occuper; mais s'ils ont toute autre forme, on les construit au moyen de règles de bois, qui figurent le périmètre ou le contour de la surface extérieure des noyaux; ensuite on emplit avec de la terre le vide que laissent les anneaux ou les règles; l'on bat fortement cette terre avec le maillet, et, lorsqu'elle a acquis assez de solidité, on retire les cercles ou les règles, et les moules sont terminés.

Quelques plaques, comme celles des poêles, doivent porter des feuillures pour les placer les unes à côté des autres en emboîtement, et les retenir plus facilement comme dans un cadre. On obtient ces feuillures au moyen de règles en fer ou en terre sèche, que l'on place sur les bords du moule, et qui remplissent exactement l'espace vide que les feuillures doivent marquer.

Plusieurs pièces, telles que les poids à peser, doivent avoir des anneaux ou des poignées de fer mobiles pour les suspendre; souvent même ces anneaux se placent après que les pièces de fer ont été fondues, et on les soude dans les trous qui ont été ménagés dans la masse de la fonte; d'autres fois aussi on les enchâsse de suite dans la fonte en coulant la pièce. A cet effet on enfonce et l'on recouvre de terre les masses de terre qui doivent être séparées, et on laisse saillir celles

qui doivent être prises par la fonte : celle-ci, en coulant, les environne, se fige autour, et les retient enchâssées.

Après avoir retiré les modèles des moules, il est ordinairement indispensable de réparer ces derniers en retouchant les angles des encoignures avec le couteau de bois; on unit les surfaces raboteuses avec la planche lisse; on raccommode les creux qu'ont laissés les reliefs du moule, et qui ont pu être déformés; enfin on recouvre la terre d'une légère couche de charbon en poudre très fine, en secouant le sac à charbon au-dessus du moule, et l'on y coule la fonte lorsqu'il est propre à la recevoir.

2. *Des moules en métal.*

Plusieurs métaux, tels que l'étain, le plomb, le zinc, les alliages de plomb et d'antimoine, qui tous se fondent à une faible température, se coulent dans des moules de bronze, de laiton, de fonte de fer, de fer forgé. Le laiton, qui n'est fusible qu'à une température plus élevée, se coule en plaque sur des pierres droites et polies; le fer cru ou la fonte, qui exige pour sa fusion une température encore plus élevée, se coule, dans quelques circonstances, dans des moules de fer forgé; il est même possible de faire pour cela usage de moules de fonte.

Quand le coulage de mêmes sortes de pièces doit se répéter un grand nombre de fois, il serait sans doute plus avantageux de se servir de moules de métal, qui, une fois faits, n'exigent plus de travail pour leur formation; mais, pour la plupart des objets en fonte, cette méthode présente

un inconvénient grave et insurmontable : c'est le refroidissement trop prompt de la pièce fondue, à cause de la propriété conductrice du moule, d'où résulte que l'objet fondu devient aigre et cassant. En vain Réaumur, qui avait très bien observé cet effet, fit-il chauffer le moule métallique à un degré bien supérieur à celui qu'on donne ordinairement aux moules en terre. On a, à la vérité, proposé, pour obvier à cet inconvénient, de placer le moule et le contenu, immédiatement après la coulée, dans une espèce de four à recuire, dans le genre de ceux usités dans la verrerie, et dans lequel le refroidissement serait lent et gradué ; mais, outre les frais et l'embarras de la manœuvre pour les grandes pièces, il est à présumer que les moules s'oxideraient bientôt dans ces espèces de carquaises, et qu'il y aurait adhérence entre leurs parois et les objets coulés.

Jusqu'ici l'emploi des moules en métal pour le coulage de la fonte a été borné à la fabrication des boulets et de certains objets dont nous aurons occasion de parler plus loin, que l'on désire d'obtenir d'un grain très dur : c'est ce que les Anglais désignent sous le nom de *chilled metal*, ou *case-hardened*.

Les moules des boulets sont faits de deux pièces massives, dans le milieu de chacune desquelles est creusé un hémisphère d'un diamètre égal à celui que doit avoir le boulet que l'on se propose d'obtenir. Dans la partie supérieure est creusée une ouverture qui sert de jet et par laquelle on coule la fonte. Ces deux pièces, auxquelles on donne le nom de *coquilles*, s'accouplent, et se placent, dans cette position, entre deux madriers; on les y serre à force de coins. La coulée est placée en haut, et l'on verse dans ces moules toute

la fonte qu'ils peuvent contenir. Plusieurs auteurs ont blâmé cette méthode, parce que, disent-ils, il se forme souvent dans l'intérieur du boulet des creux qui diminuent le poids du projectile et nuisent à sa portée.

3. *Moules en terre.*

Ceux-ci s'emploient pour couler toute espèce d'objets. Ce sont les moules qui servent le plus ordinairement pour les fontes marchandes, telles que chaudières, marmites, ustensiles de cuisine, etc. On y a même coulé des pièces d'artillerie, des projectiles; on y coule aussi des statues, etc., etc.

Il paraît que le moulage en terre a été le plus anciennement pratiqué. Il est plus long, et présente un peu plus de difficulté que le moulage en sable; mais, toutes choses égales d'ailleurs, on en obtient une fonte plus douce, plus facile à travailler, parce que les moules peuvent être plus facilement échauffés, et que la terre qui les compose se refroidit beaucoup plus lentement que le sable.

Les pièces moulées sont pleines, comme les canons, quelques cylindres; ou bien elles sont creuses, comme les marmites, les bombes. Les moules des premières sont formés d'une simple enveloppe au milieu de laquelle est le vide que la pièce doit occuper.

On divise en trois parties les moules des pièces creuses : 1° le *noyau*, 2° la *chemise*, 3° la *chappe* ou *manteau*. La chemise est l'espace que doit occuper, dans le moule, le métal fondu. La chappe est formée avec de la terre qui recouvre la chemise, et qui, enveloppant l'espace que la

fonte doit occuper, conserve l'empreinte de tous les reliefs de l'extérieur de la pièce : c'est le moule à proprement parler.

Toutes ces parties sont faites de terre argileuse ; mais l'espèce, la nature et la finesse de la terre varient selon l'usage que l'on en fait et le fini des formes dont on veut conserver l'empreinte.

L'argile que l'on emploie est toute formée à la surface de la terre ; elle se trouve en couches ; elle est plus ou moins grossière : c'est un composé de silice, d'alumine, d'oxide de fer, d'un peu de chaux, et quelquefois d'autres substances.

Cette terre se délaie facilement dans l'eau ; elle y forme une espèce de bouillie qui conserve plus ou moins de liant ; en se desséchant, elle se fend, se gerce lorsque sa dessication est inégale. Pour éviter les fentes et les gerçures, on la mélange avec une substance filamenteuse, telle que de la paille hachée, du crottin de cheval, du poil de de vache, des étoupes, etc. D'abord, l'argile est pilée et passée au tamis de fil de fer, puis mouillée ; quelquefois on la détrempe, on la délaie, on la passe en bouillie par des tamis ; on la mêle avec la matière filamenteuse. La terre se divise en trois espèces. La plus grossière se pétrit avec du crottin de cheval ou de la paille, pour former les *noyaux* ; la moyenne est mêlée soit avec du crottin, soit avec du poil de vache : elle sert à faire les *manteaux* ; la plus fine est délayée avec du poil de vache : on l'emploie pour former la première couche qui recouvre la *chemise*.

Les pièces qui doivent être coulées pleines se moulent sur un modèle qui peut être de bois, de métal ou de terre. On place ce modèle dans une position telle que, la terre étant séchée dessus, elle puisse s'en détacher commodément. Il faut pour

cela que les reliefs y soient disposés de manière à pouvoir se dépouiller facilement. On couvre de terre grasse et fine la moitié du modèle. Lorsque cette terre est sèche, on la recouvre de quelques couches de terre moyenne que l'on fait sécher ensuite; enfin, on la recouvre encore de terre plus grossière. Cette moitié étant terminée, on retourne le moule et le modèle; on met, sur la tranche qui doit séparer les deux moitiés, du sable ou du charbon en poudre, pour empêcher qu'elles n'adhèrent, et l'on moule la seconde moitié comme la première. On les sépare l'une de l'autre; on retire le modèle, on fait sécher les deux parties séparées, on couvre leurs surfaces intérieures d'un léger enduit de poussière de charbon délayée, on place les deux moitiés du moule l'une sur l'autre, on les unit, on les serre fortement par une attache; on évide les jets, c'est-à-dire les ouvertures par lesquelles la fonte doit couler et dont on avait conservé la place massive sur les modèles; on fait encore sécher le moule et on le remplit de fonte liquide que l'on coule dedans.

Pour une petite masse de fonte à couler, il suffit, pour l'arrêter et empêcher qu'elle ne passe entre les deux pièces du moule, d'en enduire la commissure, après qu'elles ont été rapprochées, avec une couche de terre grasse; mais, pour de grandes pièces, cela ne suffirait pas: le poids de la matière en fusion occasionerait son échappement. Dans ce cas, on maintient les parties du moule à l'aide de bandes de fer appelées carcasses; on boulonne le tout à clavettes, ou bien on lie avec du fort fil de fer.

La méthode que M. Brezin, fondeur, a substituée à celle anciennement pratiquée pour la fonte des canons, peut donner une idée des moyens

à employer pour celle des fortes pièces en général.

M. Brézin pose son modèle en bois dans du sable ou de la terre ; il l'enfonce jusqu'à la moitié de son épaisseur, puis il couvre de terre grasse mêlée de poil de vache la moitié saillante de ce modèle ; il comprime fortement cette terre ; il en remet de nouvelle sur la première quand celle-ci est sèche, et il continue à en remettre jusqu'à ce que le modèle en soit recouvert d'une couche de 4 à 5 pouces d'épaisseur ; il recouvre le tout d'une carcasse de fer qui l'enveloppe bien, et il couvre encore cette carcasse de nouvelle terre grasse ou de plâtre ; il retourne le moule et le modèle ; il met une légère couche de charbon sur la tranche du moule, afin que la seconde partie ne s'attache pas à la première ; il couvre cette nouvelle face de terre grasse comme la précédente ; il l'environne également d'une carcasse de fer qui correspond à celle qu'on a déjà fixée, de manière qu'on puisse arrêter les deux carcasses et les lier ensemble, soit avec des boulons, soit avec du fil de fer. Lorsque la terre est sèche, il retire la moitié supérieure du moule, sort le modèle, enduit l'intérieur des deux moitiés d'une couche de poussier de charbon et de cendre délayée ; il replace les deux moitiés l'une sur l'autre, lie fortement par des demi-cercles les carcasses qui les environnent ; enfin il fait sécher et descendre les moules dans la fosse, et les place de manière à recevoir commodément la fonte.

J'ai parlé spécialement du moule d'un canon ; mais un travail analogue se fait pour toutes les autres pièces qui offrent les mêmes difficultés, et qui exigent les mêmes précautions. Dans les établissemens considérables, ces carcasses, ainsi gar-

nies, se sèchent dans de grandes étuves, où elle sont portées au moyen de grues qui les enlèvent d'une place à une autre.

Quant à la construction des moules composés de trois parties, le noyau, la chemise et le manteau, on la concevra facilement en prenant pour exemple le moule d'une marmite.

Pour obtenir le noyau d'une marmite, on place un arbre pyramidal sur le châssis; on l'entoure de paille cordelée, qui permet de lui donner une forme à peu près semblable à celle que doit avoir l'intérieur du vase. Pour remplir le vide et unir ce noyau, on couvre la paille d'une légère couche de terre grasse, puis on sèche de nouveau; on met le noyau sur le banc; on en approche une planche qui a été découpée selon la forme du calibre intérieur; on couvre le noyau de terre, et on le forme complétement en tournant l'axe. On fait sécher ce modèle, on enduit sa superficie d'une couche de cendre délayée ou de graisse fondue, afin que la chemise n'adhère pas au modèle. La matière qui remplit momentanément le vide dans lequel on doit couler la fonte se compose d'un enduit de terre très liante, et qui, étant sec, puisse être facilement cassé. Il faut, pour cette seconde enveloppe, avoir une nouvelle planche découpée, formant le profil du contour extérieur de la marmite. Ces deux profils doivent conserver entre eux l'épaisseur exacte du vase que l'on veut couler. Ce second profil se place sur le banc, de manière que son axe coïncide avec celui de l'arbre. On met la terre de la chemise sur le noyau; on forme ainsi cette dernière, qu'on laisse sécher et qu'on enduit extérieurement de cendre délayée ou de graisse fondue.

Quant au manteau du moule, on peut le former sans qu'il soit besoin de remettre l'arbre sur le banc à tourner : il suffit de placer à la main d'abord une couche de terre très fine sur la chemise, puis des couches de terre plus grossière, et de faire sécher chaque couche avant d'en mettre de nouvelles.

En appliquant chaque couche de terre successivement, il faut avoir l'attention de conserver une ouverture pour la coulée, et une ou plusieurs autres pour les jets. Ces dernières se ménagent ordinairement dans les endroits où l'on doit placer les anses, les pieds et les autres pièces qui doivent entrer dans la composition de la marmite.

Le manteau fini, mais encore mou, se coupe en deux parties, dans le sens de la longueur, afin de pouvoir le séparer commodément et le détacher de la chemise. Chaque partie doit être parfaitement sèche et ensuite réparée intérieurement, après quoi on les rapproche l'une de l'autre, pour y ajuster les moules des pieds, des anses et des autres parties saillantes.

Les anses, les pieds, se moulent séparément. On a, pour cet effet, des modèles en terre, en bois, ou en métal. Lorsque ces parties ont des formes pyramidales, comme les pieds de marmites, ou toute autre pièce qui puisse se dépouiller et sortir facilement du moule, on fait ce dernier d'une seule pièce ; mais si les objets sont contournés, comme les anses de marmites, ou qu'ils aient des formes qui ne leur permettent pas de se dépouiller, il faut faire des moules de plusieurs pièces, et les diviser de manière que ces pièces s'ouvrent pour laisser sortir le modèle.

Les noyaux et les chemises des petites pièces se tournent sur le banc ; mais ceux des pièces d'un

grand calibre, telles que les chaudières pour sucreries, pour teinturiers, etc., étant trop difficiles à modeler dans cette situation, à cause de leur pesanteur, on les tourne verticalement.

C'est sur une surface en terre ou en maçonnerie bien dressée, ou sur une plaque de fonte de fer, que l'on construit le massif pour ces grands noyaux, soit avec des briques légères, soit avec des pierres. On fixe un axe sur le sommet de ce massif: cet axe sert de centre, autour duquel doit tourner le calibre du noyau, c'est-à-dire le calibre de l'intérieur de la pièce. On met donc sur ce massif une couche de terre grasse ou d'argile, mêlée de crottin de cheval, que l'on fait sécher; sur celle-ci une seconde, une troisième, etc., jusqu'à ce que, par le mouvement du calibre, on ait formé exactement le noyau ou le vide intérieur du vase. On le fait sécher et on l'enduit d'une couche de cendre; on place le second calibre, celui de l'extérieur, de manière à ce qu'il reste, entre le noyau et la surface du moule, un espace égal à l'épaisseur que la pièce doit avoir; on recouvre cet espace avec de l'argile fine, on fait tourner le calibre, et on unit la surface extérieure de la chemise, que l'on sèche ensuite. On retire l'axe; on unit le sommet de la chemise, qui forme le fond du vase; on sèche de nouveau la terre, et l'on enduit sa surface d'une couche de cendre délayée; puis on procède à la formation du *manteau*, en couvrant la chemise de plusieurs couches successives d'argile, qui doivent être toujours fines pour les premières et grossières pour les autres. On forme l'ouverture du jet, celle des vents. Le moule étant fait, on coupe le manteau en deux parties, on les sèche, on les répare, et

on les enduit d'une couche de charbon fin ou de plombagine délayée dans de l'eau.

On pose le manteau sur le noyau, on soude les deux moitiés avec de l'argile, et l'on transporte le moule dans la fonderie pour y couler la pièce.

Des moules en sable.

Ceux-ci sont formés de châssis de bois ou de fer, que l'on emplit de sable argileux. On forme en creux, dans ces châssis, l'empreinte de la pièce que l'on veut obtenir, et en adaptant les châsssis les uns sur les autres, on complète le vide de la pièce qui doit être coulée.

Le moulage en sable a été très anciennement connu et pratiqué pour les petits objets; mais ce n'est que récemment qu'on l'a appliqué au coulage des fortes pièces. Les Anglais ont fait faire à cet égard de très grands progrès à l'art.

On emploie, pour former les moules, un composé de sable sec et d'argile, c'est-à-dire un mélange de silice et d'alumine colorée par de l'oxide de fer, qui contient assez souvent un peu de chaux. Ce sable doit avoir assez de liant pour se tasser et s'unir fortement par la compression, et il doit être en même temps assez siliceux pour ne point se gercer par la chaleur.

On trouve des sables dont la composition naturelle est propre à former des moules, c'est-à-dire qui ont tout le liant et le retrait nécessaires: tel est celui de Fontenay-aux-Roses, près Paris. Lorsque, naturellement, les sables n'ont pas assez de liant, on leur en donne en y ajoutant un peu d'argile; et, dans le cas contraire, on leur en ôte en y ajoutant des sables secs et très siliceux.

Quoiqu'un sable ait déjà servi, il peut encore être employé de nouveau, en le pulvérisant et l'humectant avec un peu d'eau. S'il acquiert trop de sécheresse par l'usage, il faut mêler des sables neufs avec de l'ancien, et quelquefois même y ajouter un peu d'argile fine.

Dans les usines où l'on a un grand nombre d'objets semblables à mouler, il est avantageux d'employer des moules de métal, à l'instar des fondeurs d'étain : telles sont, pour la fonte de fer, les coquilles dans lesquelles on coule les boulets de canons; mais les fontes obtenues dans les moules métalliques, qui sont de très bons conducteurs de la chaleur, se refroidissant trop rapidement, se trempent par ce refroidissement rapide et deviennent blanches et cassantes.

On fait avec beaucoup de facilité les moules en sable découverts. Ils n'exigent pas un long apprentissage; mais cette manière de mouler ne convient qu'à des pièces grossières et qui peuvent avoir une de leurs faces (celle qui est exposée à l'action de l'air) brute ou raboteuse. On ne l'emploie donc que pour des plaques de fonte, des cœurs de cheminées, des poids à peser, etc., etc.

Le moulage en terre et le moulage en sable dans des châssis sont également propres à couler de gros objets recouverts de traits fins et délicats, et de petits objets précieux par leur fini. On coule dans ces deux sortes de moules des statues et des médailles.

En général, on moule en sable avec plus de facilité et d'économie que dans les moules en terre; mais la fonte que l'on obtient de cette manière est ordinairement plus blanche et plus cassante que celle qui est obtenue dans les moules en terre.

Le sable est plus conducteur de la chaleur que la terre grasse; quoique comprimé, il est plus poreux; les objets s'y refroidissent plus promptement; ils s'y trempent jusqu'à un certain point : la fonte doit donc devenir cassante. Mais cette défectuosité de la fonte n'est sensible que dans les pièces minces; les grosses en sont peu affectées : ainsi, lorsque la ductilité de la fonte est indifférente, il est préférable, à cause de l'économie, de couler dans des moules de sable; il n'est pas d'ailleurs impossible, jusqu'à un certain point, d'empêcher l'aigreur occasionée par un refroidissement trop rapide; on y parvient par divers moyens, entre autres en enveloppant le moule en sable de scories rouges ou de charbons embrasés.

DES DIVERSES QUALITÉS DES FONTES DE MOULAGE.

Nous avons dit ci-devant que les fontes, relativement à leur couleur, peuvent être divisées en trois classes : 1° blanches, 2° truitées, 3° grises; que les premières contenaient ordinairement une combinaison de fer, d'oxidule de fer et de carbure de fer; les secondes, une combinaison de fer, de carbure de fer, et d'une moins grande quantité d'oxidule de fer; les troisièmes, une combinaison de fer et de carbure de fer en plus grande proportion et d'oxidule de fer en moins grande quantité. Mais nous avons reconnu aussi que l'on ne pouvait pas toujours conclure la composition de la fonte de la couleur qu'elle avait, parce que la rapidité ou la lenteur du refroidissement influe souvent sur cette couleur. La fonte qui contient de l'oxidule et très peu ou point de

graphite est toujours blanche, soit qu'elle ait été refroidie lentement ou qu'elle l'ait été rapidement; les fontes qui contiennent deux centièmes de carbone et peu d'oxidule peuvent être blanches ou truitées selon la promptitude avec laquelle elles ont été refroidies; les fontes qui contiennent beaucoup de carbure de fer et très peu d'oxidule sont d'autant plus noires que leur refroidissement a été plus lent, et s'approchent d'autant plus de la couleur blanche que ce refroidissement a été plus rapide.

Les fontes blanches, quelle que soit leur composition, sont dures, cassantes, difficiles à travailler; elles ne peuvent être entamées ni par la lime, ni par le ciseau; les fontes grises, au contraire, sont douces, ductiles, attaquables au ciseau et à la lime; quant à la fonte truitée, elle a une ductilité moyenne entre ces deux variétés.

Ces phénomènes ont beaucoup exercé la pensée des plus habiles physiciens chimistes; ils en ont cherché l'explication dans des analogies avec ce qui se passe dans la dissolution des sels, dans leur mode de cristallisation plus ou moins prompt et au sein de solutions plus ou moins concentrées. Notre savant Monge croyait que le carbone pur était dissous dans le fer lorsque ce métal était très fluide, et que la combinaison de carbure de fer connue sous le nom de *graphite* (plombagine) ne commençait à se former qu'au moment où le carbone venait à être abandonné par le métal, à cause du refroidissement.

D'après cette vue, pour expliquer l'influence d'un refroidissement trop prompt sur la couleur de la fonte, on pourrait dire que, de même que l'eau échauffée dissout beaucoup d'un sel et l'abandonne par le refroidissement, de même le fer à une

haute température dissout beaucoup de carbone, qu'il abandonne par la même cause. Le carbone, en se séparant de la masse entière, reste cependant uni à une petite portion de fer et constitue le graphite : cela serait très conforme à la théorie de Berthollet sur l'influence des masses dans les combinaisons chimiques. Si le refroidissement est très lent, le fer n'abandonne que peu à peu son graphite ; celui-ci, lorsqu'il a assez de masse pour vaincre la viscosité de la fonte, se porte à la surface et la couvre d'une couche plus ou moins épaisse de cette substance onctueuse, qui noircit les doigts. Celui qui n'a pas assez de masse pour vaincre la viscosité du fer reste, ainsi que les particules qui sont surprises au moment où elles se solidifient ; le graphite reste donc entre les molécules qui l'ont abandonné, et il les entoure. La fonte refroidie, solidifiée, étant cassée, laisse apercevoir les couches de graphite abandonnées, avec la couleur qui leur est propre, et la cassure est plus ou moins noire, selon que la proportion de graphite qui entoure les molécules du fer est plus ou moins grande.

La petite quantité de carbone, qui ne passe jamais 0.033 dans les fontes les plus carburées, ne pourrait elle seule, en la supposant distribuée d'une manière uniforme dans la masse, produire la couleur grise foncée et souvent noire que prennent les fontes carburées refroidies lentement.

Dans la fonte fluide, les molécules de fer étant écartées, et le graphite, par une légère affinité pour elles, se trouvant disséminé également, sa couleur délayée dans une si grande masse n'est pas sensible, et la fonte reste blanche si le refroidissement s'opère avec une grande rapidité, parce que toutes les molécules, saisies dans leurs posi-

tions, n'en peuvent prendre d'autres. Si, au contraire, le refroidissement se fait avec lenteur, chaque molécule de métal se rapproche de toutes celles qui l'environnent, et leur affinité entre elles, plus forte que celle du fer pour le graphite, chasse le dernier, qui vient à la surface du noyau ; chaque molécule de fer en fait autant sur celle qui l'avoisine : en sorte qu'après le refroidissement la fonte se trouve composée d'une multitude de noyaux séparés les uns des autres par des couches de graphite formées à même celui qui a suinté à travers chaque noyau. Le rayon de ces noyaux est d'autant plus grand que le refroidissement a été plus lent : car leurs masses se comportent comme les molécules dont ils sont formés, jusqu'à ce que, d'une part, la cohésion, qui diminue leur affinité, et de l'autre, l'épaisseur de la couche de graphite, qui se trouve augmentée par un suintement nouveau et par la moindre surface qu'il recouvre, arrête leur mouvement. Ainsi, la couleur noire du graphite doit être d'autant plus sensible que le froidissement aura été fait plus lentement : cela est conforme à l'expérience.

La fonte naturellement blanche, qui renferme jusqu'à 0.06 d'oxygène, doit se comporter avec l'oxidule qu'il forme comme la fonte carbonée avec le graphite : la couleur blanche de l'oxidule empêche que les effets ne soient sensibles à la vue.

Il faut avouer cependant qu'un fait semble contredire ces explications. Le graphite étant plus léger que le fer, en se séparant de ce métal, sa combinaison doit être moins intime : il semblerait donc que la fonte grise dût être moins dense que la fonte blanche, surtout que la fonte blanche naturelle et obtenue par un refroidissement lent. Mais ici l'expérience offre tout le contraire :

car, d'après les observations de Bergmann, Buffon et plusieurs autres métallurgistes, la fonte blanche est plus légère que la fonte grise.

La densité de ces fontes, d'après Bergmann, est :

	Densité.	Pd. cub.	Décim. cubes.
		liv.	gram.
Fonte blanche pauvre,	6601	462	6601
— grise riche,	6859	480	6859
— noire supersaturée,	7262	508	7262

D'après les expériences de Buffon, la pesanteur est :

	Pieds cubes.	Décim. cubes.
	liv.	gram.
Fonte blanche épaisse, tenace,	457	6521
— blanche fluide,	462	6601
— grise,	485	6921
— plus grise,	512	7330

Depuis long-temps Réaumur avait observé que toutes les fontes de fer ont, comme l'eau, la propriété d'augmenter de volume en se refroidissant. En effet, si l'on emplit de fonte liquide un creuset chauffé au rouge, et qu'en passant une règle sur ses bords, on en rejette tout ce qui excède la ligne de niveau, on remarque, lorsque la fonte est solidifiée, quelle qu'ait été d'ailleurs la lenteur ou la promptitude du refroidissement, que la surface est devenue convexe, et qu'elle s'est élevée considérablement au-dessus du vase qui la contenait. En général, cette convexité est d'autant plus grande que la fonte est plus grise. Cette propriété est précieuse, en ce qu'elle per-

met de conserver, en employant la fonte, les empreintes des moules avec plus de sûreté et de précision qu'on ne pourrait l'obtenir avec la plupart des autres métaux.

Réaumur, jugeant que l'on pourrait attribuer cette élévation de la fonte refroidie à quelque retrait qu'aurait pu éprouver le creuset qui la contenait, fortifia son assertion de la remarque suivante : il s'est assuré que la fonte solide surnage constamment la fonte liquide, quelque précaution que l'on prenne, soit en la plaçant sur le liquide, soit en la mettant au fond du creuset et versant ensuite la fonte liquide par-dessus. C'est un effet absolument opposé à ce qui se passe avec le cuivre, l'étain, le plomb, l'argent, l'or. Il semblerait, d'après les expériences de Réaumur, que le zinc, le bismuth et l'antimoine participent, mais à un moindre degré, à cette propriété de la fonte.

L'observation journalière sur la fusibilité de la fonte, celle que l'on fait en coulant le fer fondu dans les hauts fourneaux, présente ce résultat, que les fontes grises sont celles qui coulent avec le plus de facilité, et les fontes blanches avec le plus de difficulté, enfin que ces dernières se figent plus promptement que les premières.

De ces observations on serait porté à conclure que la fonte grise se liquéfie plus facilement que la fonte blanche; mais d'autres observations, faites sur les hauts fourneaux, font naître à cet égard de l'incertitude : la première c'est que, lorsqu'on coule le fer cru à l'état de fonte blanche, le fourneau est ordinairement moins chaud que pour le couler à l'état de fonte grise; la seconde, c'est que, si, en coulant la fonte grise, le fourneau n'est pas extrêmement échauffé, ou si on

laisse la fonte trop long-temps en bain, et qu'elle puisse se raffiner, soit parce que son oxygène se combine avec du carbone, soit parce que son graphite se sépare, elle coule pâteuse et se durcit. Pour déterminer le rapport de fusibilité des trois espèces de fonte que l'on distingue, il reste donc encore des expériences à faire.

Réaumur, toujours infatigable dans ses recherches, avait déjà vu que *les fontes blanches de plusieurs fusions sont plus faciles à fondre que les fontes grises*. En effet, lorsqu'il jetait dans son creuset des fragments de fonte de différentes couleurs, et qu'il essayait cette fonte en la coulant à mesure qu'elle fondait, il remarquait que *la fonte blanche, fondue la première, en sortait blanche et* dure, *et que ce qui restait à fondre dans le creuset, qui était de la fonte grise, en donnait ensuite de douce*. Mais ce savant si modeste, n'ayant fait d'expériences que sur les fers crus, qui se liquéfient après avoir été fondus plusieurs fois, avoue ingénuement qu'il ne lui a pas été aisé de démêler si les fontes naturellement blanches (celles que l'on obtient du haut fourneau malgré un refroidissement lent) sont dans le même cas; mais l'analogie conduit à le penser.

Les fontes naturellement grises donnent habituellement de la fonte douce, lorsqu'elles ont été refroidies lentement; cependant, cette propriété qu'elles ont de produire de la fonte grise et douce peut varier avec le mode de fusion que l'on met en usage. Si la fonte reste long-temps en bain, il se sépare peu à peu une portion du graphite qu'elle contient; ce graphite monte à la surface; et si le régule de fer est fondu à découvert, et que l'oxygène qui touche la surface puisse avoir un libre accès sur lui, le charbon et le fer se brûlent, il se

dégage de l'acide carbonique, et la fonte devient blanche.

Réaumur avait remarqué aussi depuis longtemps (Voyez *Art d'adoucir le fer*, 10e mémoire) que la fonte grise et douce fondue dans de la poussière de charbon conservait sa ductilité, tandis qu'elle la perdait lorsqu'on la fondait avec toute autre substance. La fonte conserve aussi un peu plus de sa ductilité en la fondant avec un verre terreux, qui la préserve du contact de l'air, que lorsqu'on la fond à découvert, et cela parce que ce verre empêche l'oxygène d'agir sur la surface, et qu'il a de plus la propriété de la débarrasser de l'oxidule de fer qu'il touche et qu'il dissout.

Les fontes grises refondues sans les préserver du contact de l'air blanchissent ordinairement à chaque fusion nouvelle, et en blanchissant elles acquièrent de la dureté et de la fusibilité. Le degré de blancheur que les fontes acquièrent dans leur fusion varie avec la nature de la fonte, le mode de fusion, et le temps qu'elles restent en bain. Chaque fonte grise obtenue peut et doit contenir des proportions de carbone différentes, et, selon ces proportions, résister plus ou moins au blanchiment. Les fontes provenant des hauts fourneaux chauffés avec du charbon de houille, dans lesquels le minerai reste 80 à 90 heures en contact avec le combustible, doivent être et sont en effet beaucoup plus carburées que celles qui ne restent dans le fourneau en contact avec les charbons ou exposées à l'action des gaz carbonés que 8 à 9 heures : aussi les fontes obtenues dans ce dernier cas blanchissent-elles plus promptement, plus facilement que les premières.

Après avoir reconnu que la couleur des fontes

n'était qu'un caractère indirect, et qu'il se trouvait des fontes blanches qui devenaient douces et grises en les refondant (les fontes carbonées qui n'étaient blanches que par l'effet d'un refroidissement subit), Réaumur a cherché un nouveau caractère pour distinguer les fontes, et il l'a pris dans leur tissu. On ne peut mieux faire que de citer textuellement cet habile observateur.

« Quelques unes, dit-il, semblent être composées de grains ou de molécules qui, à la vue « simple, ont un air arrondi; et les autres, bien « observées, paraissent être composées de lames; « on ne trouve point à leurs molécules la rondeur « des molécules des premières. Les *grainées* varient « par leurs grainures : quelques unes ont de gros « grains, tandis que d'autres en ont de fins. Les « raisons de préférence d'une fonte sur une autre « doivent donc être prises et de sa couleur et de « sa *tissure*. Du côté de la tissure, celles qui ont « le grain le plus fin, le plus distant, le mieux « démêlé, le mieux arrondi, le plus approchant « de celui d'un acier trempé peu chaud, l'emportent sur les autres; et, du côté de la couleur, celles qui ont des nuances plus brunes « sont plus faciles à tenir douces. Les meilleures « de toutes, au ou moins celles que l'on peut « fondre avec le moins de précaution, sans « craindre de les rendurcir, sont donc celles « qui, étant très noires, ont un grain très fin et « très distinct; mais de deux différentes fontes « dont l'une aura un gris plus clair et sera mieux « grainée, et dont l'autre sera plus noire avec « des grains plus gros et moins démêlés, on préférera celle de la plus parfaite grainure. Généralement parlant, on peut beaucoup plus compter sur le grain que sur la couleur.

« Celles qui, bien considérées, semblent plu-
« tôt composées de lames que de grains, sont in-
« férieures aux grainées ; mais, entre celles-là,
« les meilleures ont les lames plus fines, plus pe-
« tites, plus détachées les unes des autres ; et les
« plus mauvaises de toutes ont des amas de lames
« qui forment comme de gros grains aplatis.

« Si celles qui n'ont que des lames ne sont pas
« d'un gris foncé ou très brun, il sera toujours
« très difficile d'en couler des ouvrages limables.

« On espère peu de celles qui, quoique extrê-
« mement noires, paraissent parsemées de points
« brillants : en général, ces brillants, dans les
« fontes grises, sont de mauvais indices. Si, de
« plus, les fontes noires sont composées de gros
« grains aplatis, elles sont les plus mauvaises de
« toutes ; des fontes d'un gris presque blanc vau-
« dront souvent mieux. »

Les fontes diffèrent donc entre elles, d'après tout ce qui a été dit, et par leur degré de ductilité, et par celui de leur fusibilité, et par la dureté qu'elles acquièrent en les fondant plusieurs fois. En général les plus douces ont une couleur grise ou noire et un grain fin ; les plus fusibles ont une couleur blanche et un tissu lamelleux ; celles dont le volume augmente le moins en se solidifiant sont les fontes blanches ; enfin ce sont les plus noires qui conservent leur ductilité en les fondant à plusieurs reprises ; ce sont aussi celles qui ont le grain le plus fin.

Il est surperflu d'observer que l'on doit faire choix de différentes qualités de fonte, selon les pièces que l'on veut mouler. Très souvent les pièces coulées doivent être percées, limées, travaillées au ciseau et au tour, soit pour les réparer ou pour les ajuster, les dresser, les polir :

dans ce cas il convient d'employer la fonte qui, après avoir été coulée, conserve le plus de mollesse et de ductilité, par conséquent la fonte la plus noire avec le grain le plus fin ; et, pour lui conserver cette ductilité, il faut que son refroidissement soit très lent.

Toutes pièces qui peuvent être employées telles qu'elles sortent des moules, sans êtres sujettes à réparation, sans être percées, doivent être coulées pendant que la fonte est très liquide, afin que celle-ci prenne exactement l'empreinte des plus petits détails des moules : telles sont, par exemple, les médailles, les petits bas-reliefs. La fonte blanche semblerait donc, dans cette circonstance, devoir être préférée à toute autre, à cause de sa facile liquéfaction ; mais la forme lamelleuse que prennent les parties en se solidifiant, et la tendance qu'elles ont à se cristalliser, contribuent à produire des inégalités à la surface, et à déformer les traits fins : aussi préfère-t-on dans ce cas la fonte truitée, qui participe de la grande fusibilité de la fonte blanche, et qui de plus jouit de la propriété d'augmenter de volume en se solidifiant, et de conserver un grain fin et uniforme.

Les pièces où la dureté est désirable, et qui doivent rester inattaquables à la lime, telles que les enclumes, les marteaux de forge, etc., peuvent et doivent même être coulées avec de la fonte blanche naturelle. Ces pièces coulées avec de la fonte grise qui n'a blanchi que par un refroidissement très prompt, et qui ne doit sa dureté qu'à cette circonstance, reprennent la couleur grise, la mollesse et la ductilité, lorsqu'elles s'échauffent par le travail.

Les fontes provenant des minerais qui donnent

du fer cassant à froid peuvent être employées avec un grand avantage à la confection de la poterie de fer, des ustensiles de cuisine, des cœurs et contre-cœurs de cheminées, des plaques de poêles et poêles, des chaudières de toutes formes. Cette fonte, coulée en marchandises, jouit encore de deux avantages : le premier, c'est qu'elle n'exhale aucune odeur en la chauffant, qu'elle ne communique aucune saveur désagréable aux objets que l'on cuit dans les vases qui en sont formés, enfin qu'elle ne noircit ni les sauces ni les légumes ; le second, c'est que l'espèce de minerai qui produit cette fonte est d'une fusion facile, et que l'on peut en obtenir de la fonte propre à ces objets, avec la plus petite consommation possible de combustible. Il faut éviter d'employer cette fonte pour couler des objets susceptibles de chocs violents, parce qu'elle partage ordinairement le défaut d'être cassante à froid, qui caractérise le fer que l'on en obtient.

On peut, sans inconvénient, employer les fontes provenant des minerais qui produisent du fer brisant à chaud à la fabrication de tous les objets qui doivent avoir de la ductilité, de la résistance, et qui doivent être travaillés, percés, ciselés, limés ou polis après la fonte : car en supposant que la fonte partageât le défaut du brisant à chaud, il n'aurait aucune influence sur l'usage des pièces fondues, qui ne sont pas destinées à être chauffées au rouge, ni martelées à la forge après avoir été chauffées. Cette fonte est donc très propre aux canons, aux cylindres de laminoirs, aux roues dentées, et à plus forte raison aux balcons, grilles, portes grillées, et généralement à tout ce qui doit être travaillé après avoir été fondu.

Mais l'emploi de cette fonte pour la fabrication des poêles, des ustensiles de cuisine, etc., serait défectueux, à cause de l'odeur désagréable qu'elle exhale quand on la chauffe; elle a d'ailleurs l'inconvénient très grave de noircir les aliments qu'on y fait cuire, et de leur communiquer souvent une saveur étrangère et désagréable.

Les minerais dont on ne peut obtenir que des fers qui sont à la fois cassants à froid et brisants à chaud donnent une fonte qui n'est propre qu'à très peu d'usages : il n'est guère possible d'en couler que des boulets ou du lest pour les vaisseaux.

Du coulage des fontes.

Dans les usines où les fontes moulées se coulent directement des hauts fourneaux, on donne au creuset de ceux-ci de plus grandes dimensions qu'à ceux qui coulent des gueuses, principalement dans le sens de leur longueur, et cela afin de pouvoir réunir plus de fonte devant la tympe, et de pouvoir l'y puiser plus facilement avec la poche.

Le travail du haut fourneau est le même, soit que la fonte doive être coulée en gueuse, soit qu'elle doive être coulée dans des moules : dans ce dernier cas elle doit être très liquide. Ainsi la conduite du fourneau, par la quantité d'air qu'on y lance, et la proportion du minerai que l'on charge avec le combustible, dépend de la nature de la fonte que l'on veut obtenir et du minerai que l'on traite.

On coule dans les moules soit par des rigoles ou à la poche : la première méthode est assez généralement employée pour couler de grosses pièces dont on enterre les moules, ou pour cou-

ler à moule découvert ; on se sert de la seconde pour couler de petites pièces dont on peut transporter les moules devant la tympe.

Pour couler en *rigole*, on perce le trou du chio, comme pour couler la gueuse; seulement il faut prendre toutes les précautions que les circonstances exigent pour empêcher les laitiers de couler avec la fonte dans les moules.

Il suffit souvent d'enfoncer dans la rigole de la coulée une plaque de fer qui n'atteigne pas le fond, afin d'arrêter la fonte et de la forcer de passer par la petite ouverture qu'elle laisse près du fond : les laitiers, plus légers, et qui surnagent, sont arrêtés à la surface, et la fonte, plus pesante, et qui se porte dans le fond, coule pure et sans mélange.

Lorsque la fonte doit remplir plusieurs moules, on la laisse couler d'abord dans l'un d'eux, en bouchant toutes les issues qui conduisent aux autres; aussitôt que celui-ci est plein, on ferme l'ouverture qui y communique, et l'on ouvre celle qui conduit à un autre moule, et cela successivement.

Le fondeur qui ouvre l'ouverture du chio doit retirer lentement et peu à peu son ringard de l'ouverture qu'il a faite ; il doit le sortir avec précaution, afin de retenir la fonte et empêcher qu'elle ne sorte avec trop de rapidité et d'impétuosité.

On pratique toujours, dans les moules formés pour de grandes pièces, deux sortes d'ouvertures : les unes par lesquelles la fonte arrive, les autres par lesquelles l'air et l'humidité doivent sortir. Comme il se dégage beaucoup de gaz hydrogène carboné, il faut enflammer celui-ci, s'il n'est pas assez échauffé pour s'enflammer naturelle-

ment et instantanément. La flamme que l'on aperçoit est souvent un indice de la bonne qualité du moule : car, lorsqu'il se perce, et que la fonte coule dans la fosse, il est rare que cette flamme paraisse.

Pour couler à la poche, on arrange une masse de scories que l'on insère entre la tympe et le fond du creuset, afin d'y arrêter le laitier, et d'avoir toujours dans l'avant-creuset de la fonte pure qui coule par-dessous ce laitier.

Les *poches* sont de grandes cuillères de fer, que l'on enduit intérieurement et extérieurement d'une couche d'argile, que l'on fait sécher ensuite : cette couche préserve de l'action de la fonte liquide le fer avec lequel ces cuillères sont formées.

La fonte, par son séjour dans le creuset, s'y affine; elle devient pâteuse et s'y durcit, par l'effet de la combustion de son carbone par l'oxygène qui est en présence : voilà pourquoi on est forcé de couler à des époques très rapprochées la fonte dont on a besoin, comme pour les pièces délicates, à un état de grande liquidité. Il est des fourneaux dans lesquels la fonte se coule toutes les deux heures; dans d'autres on ne coule que toutes les douze heures : dans les premiers, la masse de fonte obtenue pèse de 4 à 6 quintaux; dans les autres, les poids des gueuses varient entre 15 et 25.

On donne aux creusets différentes dimensions, relativement à la quantité de fonte que l'on doit couler. Le plus communément leur capacité est de 4 à 6 pieds cubes; et, comme la fonte est ordinairement recouverte de quelques pouces de laitier, il en résulte que les creusets ne peuvent retenir que 3 à 5 pieds cubes de fonte, laquelle, à 5 quintaux environ le pied cube, produit une gueuse de 15 à 25 quintaux.

Tant que les pièces à couler n'excèdent pas

20 quintaux, on peut les obtenir d'un seul haut fourneau ; mais, lorsque leur poids surpasse 25, il est difficile de rassembler assez de fonte dans un fourneau de 18 à 24 pieds de haut : quoiqu'il paraisse facile d'augmenter les dimensions des creusets, de leur donner une plus grande capacité, pour qu'ils puissent contenir plus de fonte, il serait dangereux d'en accumuler plus de 25 quintaux dans le creuset d'un fourneau ordinaire, parce que la fonte, s'affinant par le long séjour qu'elle ferait dans le creuset, formerait des *renards* et pourrait contribuer à produire des engorgemens.

Il faut 25 quintaux de fonte de fer pour couler une pièce de 6 à 9 livres de balles, et 1,300 kilogrammes pour couler une pièce de 36.

Avant que les Anglais n'eussent été forcés, par l'usage qu'ils font du charbon de houille, à construire de très hauts et de très grands fourneaux, on ne connaissait d'autres moyens d'obtenir assez de fonte pour couler des pièces de 18 que d'accoler deux fourneaux l'un contre l'autre. Aujourd'hui que les fourneaux ont de 45 à 60 pieds de hauteur et peuvent couler jusqu'à 650 quintaux de fonte en 24 heures, il est possible, en construisant dans ces fourneaux des creusets de 22 à 24 pieds cubes de capacité, d'y rassembler 20 pieds cubes de fonte recouverte de 2 à 3 pieds cubes de laitiers, et de couler jusqu'à des pièces de 36.

De la refonte des gueuses et de l'emploi de cette matière au moulage.

Cette opération peut se faire soit dans des fourneaux assez semblables, sauf les dimensions, aux hauts fourneaux, soit dans des espèces de four-

neaux appelés par les Anglais *cubilos*, soit dans des fours de réverbère. Ceux-ci sont plus avantageux, lorsqu'on a besoin que la fonte à couler soit en partie affinée, tandis que, dans les fourneaux où elle est en contact immédiat avec le charbon, elle reste plus carbonée au moment de la couler.

Les fours de réverbère ont, à l'extérieur, la forme d'un parallélipipède rectangle, surmonté de deux prismes quadrangulaires posés l'un sur l'autre, et dans lesquels sont creusées les cheminées. Le muraillement est lié avec des barres de fer pour les prémunir contre l'effort de la chaleur lorsqu'on chauffe les fours. Quelques uns de ces fourneaux sont encaissés dans des plaques de fonte maintenues par des brides et des boulons à clavettes.

L'intérieur du fourneau se divise en deux parties : l'*aire*, la *sole* sur laquelle on fond, et le *foyer* dans lequel on place le combustible qui doit produire la chaleur nécessaire à la fusion.

La forme du foyer est ordinairement celle d'un parallélogramme rectangle ; celle de l'aire varie ; mais, à cet égard, tous les fourneaux de réverbère pour la refonte des gueuses présentent un résultat commun, c'est qu'ils vont en se rétrécissant continuellement dans l'intérieur jusqu'au creuset, d'où la flamme s'élève ensuite pour s'échapper dans la cheminée. La flamme, ainsi resserrée par la diminution du vide intérieur, se concentre davantage, et cette concentration se trouve encore augmentée par le rétrécissement de l'ouverture de la cheminée : ainsi, quoiqu'une partie de la chaleur soit absorbée en parcourant l'espace compris entre le foyer et le creuset, la concentration de la flamme et de la chaleur

rayonnante permet que la température soit encore très forte lorsqu'elle arrive au creuset. La forme intérieure du fourneau oblige donc la flamme à se diriger vers le creuset et à se réfléchir sur la surface de la sole, pour pouvoir gagner le tuyau et s'échapper par la cheminée.

Dans tous les fourneaux, il existe au-dessous de la grille du foyer un vide par lequel l'air arrive pour traverser le combustible et entretenir la combustion : on descend dans ce vide inférieur par un escalier, soit pour dégager la grille des *escarbilles* de la houille en partie brûlée et qui l'obstrue, soit pour sortir les cendres, etc., etc.

Dans un grand nombre de fourneaux, l'aire est placée sur un massif de maçonnerie ; dans d'autres, sur une voûte construite dans le sens de la longueur ou de la largeur. Cette voûte facilite l'évaporation de l'humidité. Dans quelques fourneaux, la sole est posée sur une plaque de fonte que l'on retire lorsque l'on veut sortir le sable qui compose cette sole : celui-ci tombe dans le vide pratiqué au-dessous.

On construit en briques très réfractaires la chemise intérieure de ces fourneaux ; elle doit être, comme dans les hauts fourneaux, distincte et séparée du muraillement extérieur, afin de pouvoir la défaire et la reconstruire, sans déranger le massif, lorsqu'elle a été altérée par le feu.

La sole sur laquelle la gueuse fond et coule est de sable fortement battu ; celui-ci doit être assez réfractaire pour supporter la haute température de ces fourneaux sans se fondre, mais assez fusible cependant pour se prendre en masse à la surface, et se couvrir d'un léger enduit vitreux.

En coulant sur cette surface, la fonte la corrode et la ronge ; partout où il se trouve du sable

en contact avec de l'oxide de fer fondu, la fusion du premier est facilitée par l'autre, et il y a combinaison entre eux. Cette corrosion détruit promptement la sole, et nécessite de fréquentes réparations, dont les intervalles sont d'autant plus éloignés que le sable est de meilleure qualité.

Quant aux dimensions des fourneaux de réverbère, elles doivent varier avec la quantité de gueuse que l'on veut fondre. Les fourneaux qui fondent de 45 à 50 quintaux ont ordinairement 33 à 36 décimètres de longueur de sole, 9 à 10 décimètres dans leur plus petite largueur; la hauteur du vide est d'environ 8 décimètres; le foyer peut avoir de 140 à 150 décimètres carrés de surface; enfin, l'inclinaison de la sole varie entre les deux et les trois dixièmes de la longueur.

Les dimensions extérieures de ces fourneaux sont de 45 décimètres de longueur, 25 de largeur et 23 de hauteur au-dessus du sol; la profondeur de la cuve est ordinairement de 22 décimètres.

Dans les petites usines, celles où l'on fond peu de gueuses, où les pièces moulées ne pèsent jamais plus de 40 à 50 quintaux tout compris, les fourneaux sont simples; dans les usines plus considérables, dans celles où l'on coule des pièces qui pèsent plus de 50 quintaux, les fourneaux sont doubles, c'est-à-dire que l'on en réunit, que l'on en accole deux l'un contre l'autre. Il résulte de cet accouplement un peu d'économie dans le combustible, lorsque les fourneaux fondent ensemble; et il est plus facile de réunir les jets, les coulées, lorsqu'ils doivent concourir tous les deux à la production de la fonte qui doit remplir le moule.

Chaque fourneau a trois ouvertures : une devant, et deux latérales. L'ouverture du devant sert

à regarder dans le fourneau, à brasser la matière lorsqu'elle doit être travaillée, et à prendre des essais pour juger de son état. Les ouvertures latérales correspondent, la première au foyer; elle sert à charger la houille, le combustible que l'on y brûle. La seconde correspond à la sole; elle est placée très près du foyer; c'est par cette ouverture que l'on entre la gueuse dans le fourneau, et qu'on la charge. Cette ouverture se ferme par une porte en briques arrangée et maçonnée dans un châssis de fer; cette porte est soulevée à l'aide d'une potence; on bouche avec de l'argile crue toutes les fentes qui peuvent rester quand la porte est abattue.

Les fourneaux fraîchement construits, ceux dont on a refait la sole, ou ceux que l'on a laissés refroidir, doivent être bien chauffés avant de les charger, parce que la gueuse, pour être bien liquéfiée, et pour qu'elle éprouve moins de déchet, doit être rougie et fondue promptement. L'air, en passant à travers les charbons, n'abandonne pas tout son oxygène; celui qui traverse le fourneau pour s'échapper par la cheminée avec la flamme lèche la fonte sur son passage et y abandonne une portion de l'oxygène qui lui est resté. Cet oxygène produit deux effets différents qui varient selon la nature de la fonte. Si elle est très carburée, l'oxygène se combine avec le carbone, une petite épaisseur de la surface du fer cru s'affine, la fonte se réduit, sa fusibilité diminue, elle se transforme en fer et devient malléable. Ce fer qui reste sur la sole est connu des fondeurs sous le nom de *carcas*. Si au contraire la gueuse ne contient que peu de carbone, le fer s'oxide et devient plus fusible; mais la fonte obtenue est blanche, dure, cassante, et ne peut plus être travaillée. Comme

il se réduit d'autant plus de fonte et que l'on a d'autant plus de *carcas* que la fonte est plus de temps à se liquéfier, il s'ensuit que l'on doit liquéfier le fer cru avec la plus grande promptitude possible.

Voilà pourquoi, en mettant un fourneau de réverbère en travail, la première opération, après l'avoir fermé, est de remplir son foyer de houille que l'on allume. La flamme traverse bientôt le fourneau, et au bout de soixante à quatre-vingt-dix minutes le fourneau est rouge, la flamme intérieure est devenue blanche, et le sable qui couvre la sole s'est affermi et légèrement agglutiné : on peut alors charger en gueuse. Alors le fondeur soulève la bascule, ouvre la porte, et place la gueuse sur l'autel, et referme l'ouverture. La gueuse bientôt ramollie, liquéfiée, les gouttes de métal tombent sur la sole, se réunissent et coulent en petits filets qui vont se rassembler dans le creuset ; le bain augmente et il se couvre d'une légère épaisseur de scories, qui préserve le fer de l'action de l'air. Ces scories proviennent 1° de la petite quantité de verre terreux que la gueuse retenait encore, et qui s'est augmentée de l'oxidule formé et que ce verre a dissous ; 2° du sable de la sole, fondu par le fer oxidulé, et qui se combine avec lui, pendant que les petits filets coulent sur le sable.

Tant qu'il reste de la fonte liquéfiable, les filets de fer liquide continuent à se diriger et à se réunir dans le creuset. Lorsque tout est fondu, on doit couler aussitôt le métal, soit en perçant le trou du chio avec un ringard, soit en puisant la fonte avec des poches pour la porter dans les moules. Si la fonte restait dans le creuset, elle s'y affinerait, s'y durcirait, perdrait peu à peu

de sa fusibilité, et ne serait plus propre à être coulée.

Pour éviter le prompt refroidissement de la fonte et sa solidification dans la poche, on la reçoit assez ordinairement dans une grande chaudière que l'on enduit entièrement d'argile. Cette chaudière est maintenue par un châssis de fer réuni à une grande barre, à l'aide de laquelle on peut l'enlever avec une *grue* et une *mouffle* et la manœuvrer commodément.

Les moules se placent dans un arc de cercle dont le pied de la grue est le centre; on transporte la chaudière, pleine de fonte liquide, au-dessus de chacun d'eux : alors les ouvriers qui la suivent l'inclinent au-dessus des moules, à l'aide de grands leviers, et ils les emplissent les uns après les autres.

Quelle que soit la nature de la fonte que l'on coule, après l'avoir liquéfiée dans les fourneaux de reverbère, elle se détériore toujours à chaque fusion : de noire qu'elle était dans l'origine, elle devient grise, truitée, puis blanche. En liquéfiant ainsi la gueuse, il se produit un déchet qui varie entre 8 et 20 pour cent. Plus la fonte est carburée, moins le déchet est grand; il augmente avec la diminution du carbure de fer et le blanchiment de la fonte.

On consume, pour échauffer les fourneaux, des quantités de houille plus ou moins grandes; celles que l'on emploie ensuite pour fondre le fer cru varient selon la nature de la houille et la fusibilité de la gueuse. En Angleterre, on compte, dit Oreilly, sur trois parties de bonne houille pour en liquéfier quatre de fonte, et souvent même poids pour poids. Dans des expériences faites au Creusot, par M. Ramus, on a fondu vingt-cinq parties de gueuse en cent vingt minutes, avec vingt-deux parties de houille du Creu-

sot ; la même quantité de gueuse a été fondue en cent cinq minutes avec dix-huit parties de houille de Blangis.

Toutes les fois que l'on doit couler de très grandes pièces, ou que l'on doit en couler un très grand nombre, il faut préférer le fourneau de réverbère, comme susceptible de liquéfier plus de fonte à la fois : autrement il serait plus convenable de se servir des *cubilos* anglais, parce qu'ici la fonte est en contact immédiat avec le charbon, ce qui en prévient la détérioration.

C'est en brûlant du charbon de houille ou coke dans ces *cubilos* que les Anglais y opèrent la fonte de la gueuse. La nature de ce combustible exige une forte soufflerie. Le moyen le plus économique dans ce cas est une machine à piston du même genre que la soufflerie en usage pour le haut fourneau. La fonte, en contact immédiat avec le charbon, pendant qu'elle se fond, acquiert beaucoup de fluidité dans ces fourneaux, et se conserve sans changement de couleur. La consommation du *coke* dans un bon *cubilo* est d'environ deux parties pour dix de fonte liquéfiée, ce qui équivaut à peu près à quatre parties de houille. Il y a donc une grande économie, comparaison faite avec la consommation au four de réverbère; mais ce qui est encore plus essentiel, c'est qu'outre qu'il y a beaucoup moins de déchet, la fonte conserve plus de carbone; elle reste plus douce et plus grise.

Il est une troisième manière d'opérer la liquéfaction de la fonte pour la couler en objets de petites dimensions: c'est en employant des creusets semblables à ceux des fondeurs en cuivre. Il existe à Paris et à Lyon, notamment, plusieurs établissements où l'on s'occupe de ce travail. Les creusets dont on y fait usage sont les mêmes que ceux qu'on emploie pour fondre le cuivre; ils

peuvent également servir plusieurs fois de suite. Ils peuvent contenir de 30 à 60 livres de fonte liquide. Les creusets de Hesse, ceux de plombagine, réussissent très bien pour ce travail, et à Paris on en emploie qui coûtent meilleur marché et qui viennent de Picardie. Il est toujours bon, avant de s'en servir, de les couvrir d'une légère couche d'argile réfractaire à l'extérieur, afin de diminuer encore leur fusibilité.

On donne aux fourneaux dans lesquels on place les creusets pour liquéfier la fonte la forme d'un prisme rectangulaire, ou d'une pyramide quadrangulaire tronquée. Dans les premiers, la combustion est accélérée par le vent d'un soufflet : c'est le fourneau ordinaire des fondeurs; dans les seconds l'air arrive naturellement par l'effet du tirage de la cheminée : c'est une espèce de fourneau à vent de Macquer.

Les fourneaux prismatiques et à soufflets ont 20 à 24 pouces de hauteur, et 7 à 9 pouces de côté. Une grille placée à la moitié de la hauteur divise le prisme en deux parties égales : le dessus forme le foyer, et le dessous le cendrier. La buse du soufflet est placée dans le cendier, c'est-à-dire immédiatement au-dessous de la grille. On place le creuset vide sur cette grille; on le chauffe lentement et graduellement; lorsqu'il est rouge, on le remplit de fragments de la fonte qui doit être liquéfiée, mais peu à peu, de manière que le froid du métal ne fasse pas casser le creuset, que l'on couvre ensuite; on remplit complétement le fourneau de charbon; on le ferme et on fait jouer les soufflets, afin d'obtenir une très haute température. Pour préserver la fonte du contact de l'oxygène, on la couvre quelquefois dans le creuset avec une légère couche de verre de bouteille, qui ne tarde pas à fondre et à la défendre en l'enveloppant.

Quant aux fourneaux pyramidaux, on leur donne à Paris jusqu'à douze pieds de hauteur, 6 pouces de côté dans le fond, et 10 pouces dans la partie supérieure. Au-dessous du fond, on pratique une voûte, ou seulement une ouverture, par laquelle l'air arrive sur la grille pour entretenir la combustion. Ce fourneau est fermé par une porte oblique; un tuyau est placé sur le côté pour donner issue aux gaz de la combustion. Plus ce tuyau est élevé, et mieux le fourneau tire; plus il s'échauffe, et plus sa température intérieure s'élève.

On consume communément 110 livres de houille moyenne pour liquéfier cent parties de fonte dans les creusets, ou 85 livres de charbon de bois.

Du travail et des habillages que doivent épouver les fontes moulées.

Un grand nombre de pièces peuvent être employées au sortir du moule, sans autre préparation que d'en casser les jets et d'en détacher au ciseau le sable durci qui s'y est attaché. Mais il est aussi beaucoup d'autres objets qui exigent d'être ébarbés, réparés, percés, dressés, tournés, allésés, calibrés après le coulage, tels que les roues d'engrenage, les canons, les cylindres de laminoirs, les cylindres de machines à vapeur, etc.

On peut couler avec toute espèce de fontes les pièces moulées qui n'exigent ni réparations ni travail ultérieur après leur sortie des moules; il est indifférent aussi, dans beaucoup de cas, de les laisser refroidir lentement. Mais les pièces qui sont destinées à être retravaillées doivent être coulées avec une fonte qui ait de la douceur, qui puisse céder à l'action de la lime, du ciseau, du foret et des autres instruments. Il ne suffira pas d'ailleurs de l'emploi de fonte grise pour ces objets : il faudra encore avoir soin, en la liqué-

fiant, d'éviter qu'elle ne s'oxide au point de devenir dure et intraitable; il faudra aussi éviter le refroidissement trop prompt, qui aurait le même résultat.

Les fontes qui ne sont devenues blanches que par l'effet d'un refroidissement trop brusque, et qui retiennent encore la proportion de charbon propre à leur donner de la douceur et du liant, peuvent reprendre et leur couleur et leurs autres propriétés de fonte grise, si on leur fait éprouver une nouvelle fusion, suivie d'un refroidissement opéré avec la lenteur convenable. Les pièces coulées sont même susceptibles d'acquérir de la douceur et une certaine ductilité, une certaine mollesse, si on les fait chauffer et qu'on leur donne une espèce de recuit dans un fourneau analogue au recuit du verre : elles deviennent alors propres à être travaillées.

Quant aux fontes blanches par défaut de carbone, aucun recuit, aucune nouvelle fusion suivie d'un refroidissement lent, ne peut leur communiquer les propriétés et la ductilité des fontes grises. Une seule ressource se présente; elle pourrait être mise en usage à défaut de fonte grise, et si l'on n'avait pas d'égard aux frais de l'opération : ce serait une espèce de cémentation avec du charbon, dans le genre de celle qu'on pratique sur le fer pour le convertir en acier.

L'infatigable Réaumur, dont les travaux sur la fonte ne peuvent être trop consultés, s'est beaucoup occupé des moyens d'adoucir la fonte. Sans doute la connaissance des procédés d'exploitation des hauts fourneaux, au moyen desquels on peut aujourd'hui obtenir à volonté, dans la plupart des circonstances, soit de la fonte blanche, soit de la fonte grise, a bien diminué l'importance commerciale et vénale des procédés indiqués par Réaumur. Mais ses travaux, admirables

pour le temps où ils ont été faits surtout, n'en restent pas moins là pour attester toutes les ressources de son industrie, et pour l'explication de ce qui se passe dans les fourneaux. Les théories changent tous les jours, une analyse nouvelle renverse les résultats de toutes celles qui l'ont précédée ; mais peu importe au fabricant comment on entend que le carbone reste combiné avec le fer ou interposé dans la fonte, pour produire de la fonte blanche aigre ou de la fonte grise douce : l'essentiel pour lui est de se procurer l'espèce de fonte qui convient à ses besoins, à son commerce ; et il est évident qu'en tenant de la fonte blanche en contact prolongé avec du charbon, il peut la convertir en fonte grise, tout comme il est évident que de la fonte carbonée qui a perdu sa couleur grise et sa douceur par l'effet d'un refroidissement trop subit peut être ramenée à ses propriétés primitives soit par une espèce de réchauffage, soit par une nouvelle fusion suivie d'un refroidissement gradué.

Pour le premier cas, il y a quelques précautions à prendre dans l'opération : il faut éviter, en chauffant la fonte, 1° que le fer cru ne s'oxide en s'échauffant, 2° qu'il ne se liquéfie. Le fer exposé nu à l'action du feu et de l'air qui entretient la combustion s'oxide à la surface ; il s'y forme des petites écailles d'oxidule, qui se détachent après le refroidissement ; et si les pièces ainsi chauffées avaient des reliefs délicats, ceux-ci se trouvent affaissés et déformés. Réaumur est parvenu de deux manières à empêcher cette oxidation : 1° en plaçant ses pièces dans des creusets ou dans des caisses, et en les environnant soit de charbon, soit d'un mélange de charbon et de poudre d'os ; 2° en les recouvrant d'une couche un peu épaisse de plombagine, qu'il délayait dans de l'eau, et dont il enduisait les pièces avec un pinceau. Pour des médailles délicates dont on a voulu, par ce

procédé, adoucir la matière, on s'est servi avec beaucoup de succès, et en même temps de commodité, d'un enduit d'encre d'imprimeur en taille-douce.

Dans quelques endroits, on chauffe aujourd'hui les fontes de fer dans de grands fourneaux en les stratifiant avec de la sciure de bois: on a remarqué que la sciure des bois blancs était préférable.

Les bornes de notre ouvrage ne nous permettent pas de rapporter toutes les expériences de Réaumur, ni toutes les conclusions qu'il en a tirées. C'est à regret que nous sommes forcés de les omettre. Il nous semble qu'elles ont répondu d'avance à bien des objections qu'on élève aujourd'hui sur la nature des fontes, contrairement à tout ce qu'on avait admis, jusqu'à ces derniers temps, non seulement d'après les travaux de Réaumur, mais conformément aux vues des plus habiles métallurgistes du dernier siècle, confirmées d'ailleurs par les analyses des chimistes les plus éminents.

Réaumur a observé que la fonte blanche chauffée soit dans des creusets avec un mélange de poudre d'os, soit dans un foyer après l'avoir recouvert d'une couche de plombagine, prenait un grain et une *tissure* particulière. Il chercha à déterminer la marche et la progression de ce changement. Il remarqua assez généralement 1° que la surface de la fonte se parsemait d'abord de petits grains gris qui allaient en augmentant jusqu'à ce que l'enveloppe extérieure fût affinée, et que l'on aperçût dans la cassure un cordon très gris; ces grains se propageaient ensuite de la circonférence vers le centre, qui enfin devenait gris lui-même; 2° que le premier cordon, formé d'abord de grains gris, se blanchissait peu à peu, s'allongeait en même temps, et se changeait en lames *ferreuses;* que ce changement se propageait également de la

surface au centre ; 3° que la fonte acquérait de la malléabilité en prenant le tissu lamelleux, et qu'elle devenait susceptible de se forger comme le fer ; 4° enfin, que la fonte grainée et grise, éteinte dans l'eau, prenait la trempe lorsque les grains étaient passés à l'état de lames blanches.

Ces observations semblent prouver que par l'action de la chaleur le carbone se distribue d'abord uniformément dans le fer cru, pour lui donner de la douceur et le rendre susceptible d'être travaillé ; qu'ensuite le carbone se combine avec le peu d'oxygène resté dans la fonte ; que, par cette combinaison, le fer cru passe à l'état de fer affiné, et qu'il devient susceptible d'être forgé.

En chauffant la fonte pour la rendre douce, il faut donc éviter deux inconvénients, celui de chauffer trop ou trop peu. Dans le dernier cas, la surface de la fonte seulement s'adoucit, prend le cordon gris, tandis que l'intérieur conserve sa couleur et sa *tissure* : cette fonte alors ne peut être travaillée qu'à la surface ; elle résiste au foret qu'on voudrait introduire dans son intérieur. Dans le premier cas, la surface, en s'affinant, par une augmentation graduelle de température, perd peu à peu de sa fusibilité primitive. Si, dans cet instant, on donne un coup de feu un peu fort, la fonte intérieure se liquéfie, perce une partie de la surface et s'écoule. Cet accident s'offrit à Réaumur, qui s'occupait d'adoucir des marteaux de portes cochères.

FIN DE LA DEUXIÈME PARTIE
ET DU TOME PREMIER.

A01 1462033

Digitized by Google